

» INTERVISTA**4DPHOTON: TECNOLOGIE INNOVATIVE PER “FOTOGRAFARE” SINGOLI FOTONI**

Intervista a Massimiliano Fiorini, professore associato dell'Università di Ferrara e ricercatore associato all'INFN, vincitore di un ERC Consolidator Grant nel 2018

Massimiliano Fiorini, professore associato dell'Università di Ferrara e ricercatore associato all'INFN, è risultato vincitore nell'autunno 2018 di un ERC Consolidator Grant del valore di 1.975.000 euro, con il progetto 4DPHOTON (Beyond Light Imaging: High-Rate Single-Photon Detection in Four Dimensions), per lo sviluppo di un rivelatore di fotoni singoli, nel tempo e nello spazio, con risoluzioni combinate mai ottenute in precedenza.

Il finanziamento dell'European Research Council, attribuito annualmente a ricercatori eccellenti di qualsiasi nazionalità ed età, con almeno sette e fino a dodici anni di esperienza dopo il dottorato e un curriculum scientifico promettente, è destinato alla realizzazione di progetti high-risk high-gain e al consolidamento del gruppo di lavoro dei beneficiari.

Il progetto proposto da Massimiliano Fiorini prevede lo sviluppo di uno strumento innovativo in grado di localizzare fotoni con risoluzioni spaziali di pochi micrometri e risoluzioni temporali di alcune decine di picosecondi, con flussi fino a 1 miliardo di fotoni al secondo con un rumore di fondo trascurabile a temperatura ambiente: un salto tecnologico che avrà un forte impatto in fisica delle alte energie, ma anche in biologia e in diverse altre discipline. Il progetto, che si svilupperà in 5 anni, sarà realizzato da scienziati della Sezione INFN di Ferrara, dell'Università degli Studi di Ferrara e del CERN di Ginevra (con l'applicazione del nuovo rivelatore nei futuri esperimenti al Large Hadron Collider o LHC).

Abbiamo chiesto a Massimiliano Fiorini di spiegarci la strategia di investimento del Grant che gli è stato assegnato, le finalità e le aspettative di sviluppo del progetto.

A suo parere, perché il suo progetto è stato ritenuto promettente dall'ERC?

Il progetto prevede lo sviluppo di tecnologia fortemente innovativa per l'*imaging* di singoli fotoni, con un elevato potenziale di impatto in molte discipline. Credo che il panel ERC abbia valutato positivamente non solo le applicazioni di questo rivelatore nel campo della fisica delle particelle, ma anche le ricadute

» INTERVISTA

in diversi campi di ricerca, come le scienze della vita, l'ottica quantistica e altri. In particolare, il progetto prevede di utilizzare questo rivelatore per identificare adroni carichi (particelle cariche formate da quark, come i protoni) in esperimenti con acceleratori di alta luminosità (capaci cioè di dare luogo a un gran numero di eventi di interazione al secondo) sfruttando l'effetto Cherenkov, che si verifica quando una particella carica viaggia in un mezzo diverso dal vuoto a velocità superiori alla velocità della luce nel mezzo stesso. Grazie a questo effetto viene generato un piccolo numero di fotoni che si distribuiscono ad anello nel piano focale del rivelatore: misurando il raggio di questi cerchi è possibile ricostruire la velocità della particella, e conoscendo anche la quantità di moto è possibile identificarla. Con l'aumento di luminosità degli acceleratori e il conseguente aumento del numero di particelle che si accumulano nei rivelatori, l'aggiunta della coordinata temporale con un'accuratezza di decine di picosecondi è di fondamentale importanza per poter associare le particelle che provengono dallo stesso evento di collisione nell'acceleratore (e che quindi arrivano simultaneamente) e scartare quelle che appartengono a eventi diversi e quindi arrivano fuori tempo.

Inoltre, il rivelatore verrà utilizzato nel campo della microscopia di fluorescenza per esplorare nuove tecniche di *imaging*, grazie alla combinazione unica delle eccellenti risoluzioni temporale e spaziale in uno strumento capace di rivelare fotoni singoli ad alto *rate*. Questo rivelatore verrà utilizzato, ad esempio, per misurare la vita media dei marcatori fluorescenti, speciali molecole utilizzate in tecniche di microscopia che – grazie alla loro fluorescenza – permettono di visualizzare particolari biomolecole a cui si legano chimicamente. Una determinazione molto precisa della coordinata temporale, assieme a quella spaziale, permette di distinguere tra diversi marcatori che abbiano spettri di fluorescenza simili ma diverse vite medie. Inoltre, permetterà di studiare l'evoluzione temporale di processi biochimici su tempi scala di decine di picosecondi, aprendo possibili nuovi scenari di ricerca.

La tecnologia che sta sviluppando promette quindi di “fotografare” singoli fotoni con una risoluzione eccezionale, nel tempo e nello spazio. Che cosa la differenzia dalle tecnologie esistenti?

I rivelatori attualmente disponibili, capaci di rivelare il singolo fotone, sono raggruppabili in diverse categorie a seconda delle prestazioni. Vi sono rivelatori in grado di misurare il tempo di arrivo di un fotone con elevata risoluzione, ma con scarsa precisione sulla sua posizione, o rivelatori che presentano un'elevata risoluzione spaziale ma bassa precisione temporale, oppure rivelatori con buone risoluzioni spaziali e temporali ma molto “rumorosi”.

Il rivelatore proposto è basato su un approccio “ibrido”: è costituito da componenti provenienti da tecnologie diverse, ciascuno dei quali è ottimizzato per ottenere le migliori prestazioni. Il cuore di questo strumento è rappresentato da un circuito integrato sviluppato in tecnologia CMOS (*Complementary Metal-Oxide*

» INTERVISTA

Semiconductor) a 65 nm, in grado di processare i segnali e di effettuare la misura della posizione e del tempo utilizzando centinaia di migliaia di canali elettronici che lavorano in modo indipendente. Questa tecnologia basata sul silicio, sviluppata per applicazioni di tracciamento e dosimetria, è inglobata all'interno di un tubo a vuoto, equipaggiato con un fotocatodo (che permette di convertire un fotone in un elettrone) e un moltiplicatore di elettroni, sviluppato inizialmente per la visione notturna.

Come sta investendo il finanziamento e quali risultati si aspetta tra cinque anni? Quali le maggiori difficoltà che immagina di dover affrontare, a livello di limitazioni tecnologiche ma anche di ostacoli nel processo di ricerca, di motivazione personale e del suo team?

Il finanziamento sarà dedicato a potenziare con almeno due posizioni postdoc il gruppo di ricerca, che è attualmente composto da ricercatori e tecnologi dell'INFN di Ferrara, dell'Università di Ferrara e del CERN. E, naturalmente, sarà dedicato alla costruzione del rivelatore, dell'elettronica di lettura e del sistema di acquisizione dati. La principale difficoltà sarà quella di riuscire a realizzare un sistema di rivelazione per singoli fotoni con le *performance* attese: questo implica riuscire a migliorare le prestazioni di ogni singolo componente che formerà il sistema finale, interagendo sia con *partner* di altri istituti di ricerca e con *partner* industriali, a cui sarà affidato l'assemblaggio del rivelatore.

Lei è anche responsabile nazionale dell'esperimento AEQUO, finanziato dall'INFN e realizzato in collaborazione con il dipartimento di Morfologia, chirurgia e medicina sperimentale dell'Università di Ferrara. Un progetto interdisciplinare, quindi: di che cosa si tratta?

Nel 2017 ho sottomesso la proposta di esperimento AEQUO alla Commissione V dell'INFN, che è stata approvata e finanziata. Questo progetto prevede lo sviluppo di un sistema di rivelazione e acquisizione dati per la misura di fotoni visibili emessi in processi di luminescenza per applicazioni bio-medicali, in collaborazione con colleghi biologi e medici. Si tratta di misurare la concentrazione di ioni calcio in distretti intracellulari utilizzando la fotoproteina equorina, che ha la proprietà di emettere fotoni quando si lega a questo tipo di ione. Abbiamo realizzato un primo strumento che permette di misurare con grande precisione il numero di fotoni emessi da campioni cellulari, e ne stiamo realizzando un secondo per migliorare la sensibilità per misure di campioni con un numero limitato di cellule, come ad esempio per quelli prelevati da biopsie. La misura della concentrazione di calcio è di grande importanza in quanto permette di studiare lo stato fisiologico della cellula: la concentrazione di questo ione ha un ruolo fondamentale nella regolazione della morte cellulare e queste misure sono molto utilizzate – ad esempio – in ricerche per farmaci antitumorali.

» INTERVISTA

La sua ricerca, quindi, ha promettenti applicazioni in ambiti di grande interesse e utilità sociale. Pensa sia possibile colmare l'inevitabile gap di conoscenza tra ricercatori e non esperti, in modo da produrre maggiore consapevolezza riguardo i temi e le ricadute della ricerca scientifica?

Tra i compiti più importanti di noi ricercatori vi è certamente quello della divulgazione dei risultati della ricerca a giovani studenti e alla società in generale. È fondamentale che le persone siano sensibilizzate sull'importanza della ricerca, sia di base che applicata. I risultati della prima, in particolare, sono tipicamente di più difficile fruizione da parte dei non addetti ai lavori, e spiegare argomenti complessi in modo esauriente e chiaro non è un compito facile. È particolarmente importante dunque organizzare eventi di *public engagement*. Da alcuni anni mi sto occupando dell'organizzazione dell'edizione ferrarese dell'*International Masterclass*, un'iniziativa gestita a livello internazionale dall'*International Particle Physics Outreach Group* (IPPOG) e, in Italia, dall'INFN con un gran numero di Sezioni partecipanti. Fin dalla sua prima edizione, nel 2005, l'iniziativa ha avuto un ottimo riscontro a livello internazionale, e a Ferrara vede ogni anno la partecipazione di circa 160 studenti delle scuole superiori che, provenienti da diverse province e regioni, sono chiamati a interpretare la giornata tipica di un ricercatore in fisica delle particelle elementari. Inoltre, collaboro con piacere con diversi insegnanti delle scuole superiori della provincia in attività di divulgazione sulla fisica delle particelle.

Il *public engagement* è inoltre valutato come attività importante di tutti i progetti finanziati dall'Europa. Proprio in questo contesto, prevedo di organizzare di attività specifiche sul mio progetto, con l'obiettivo di mostrare come l'investimento nella ricerca di frontiera *high-risk high-gain* sia di vitale importanza per il progresso della nostra società.

L'ERC Grant è un riconoscimento ambito in quanto può dare grande slancio alla carriera di un ricercatore. Che cosa si sente di consigliare a un giovane che sta intraprendendo un percorso di ricerca?

La valutazione di un progetto ERC è un processo competitivo nel quale ha un grosso peso il CV del proponente oltre all'idea che sta alla base del progetto. È molto importante per un giovane ricercatore avere delle riconosciute responsabilità in esperimenti o collaborazioni scientifiche, oltre alla gestione di progetti di ricerca. Ritengo sia importante applicare a bandi competitivi per il finanziamento di progetti di ricerca non appena se ne abbia l'occasione. Per esempio, per chi si occupa di ricerca tecnologica o applicata, un'ottima occasione è rappresentata dai grant per giovani ricercatori della Commissione V dell'INFN. È stato per me molto utile parlare con alcuni colleghi vincitori di precedenti call ERC, che si sono dimostrati molto disponibili e prodighi di consigli. Uno di questi consigli è stato molto prezioso: quello di rivolgermi al Servizio Fondi Esterni dell'INFN, che mi ha seguito con grande competenza nelle varie fasi della preparazione di *proposal* e *interview*, e nella successiva fase post-approvazione. ■