

European Strategy
for Particle Physics

13-16 MAY 2019 - GRANADA, SPAIN



NEWSLETTER 59

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

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, pag. 2

NEWS

RICERCA

LA MECCANICA QUANTISTICA DOMINA ANCHE L'ANTIMATERIA, p.6

RICERCA APPLICATA

I MODELLI STATISTICI DELLA FISICA PER STUDIARE LE MUTAZIONI GENETICHE DEL CANCRO, p. 7

RICERCA APPLICATA

STROMBOLI: REALIZZATA LA PRIMA RADIOGRAFIA MUONICA DEL VULCANO, p. 8

PUBLIC ENGAGEMENT

INAUGURATA A TORINO LA MOSTRA "UOMO VIRTUALE. CORPO, MENTE, CYBORG", p. 9

FOCUS



**STRATEGIA EUROPEA DELLA FISICA DELLE PARTICELLE: A GRANADA
L'AGGIORNAMENTO DEI LAVORI PER LA NUOVA ROADMAP, p. 10**

» 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

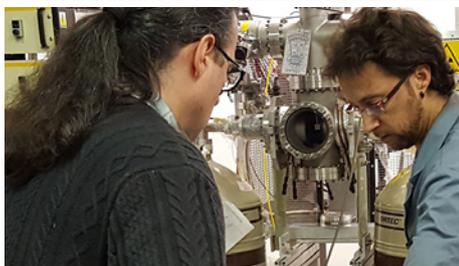
La sua ricerca, quindi, ha promettenti applicazioni in ambiti di grande interesse e utilità sociale. Pensa sia possibile colmare l'inevitabile gap di conoscenza tra ricercatori e non esperti, in modo da produrre maggiore consapevolezza riguardo i temi e le ricadute della ricerca scientifica?

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. ■



RICERCA

LA MECCANICA QUANTISTICA DOMINA ANCHE L'ANTIMATERIA

Realizzato per la prima volta con singoli antielettroni il classico esperimento della doppia fenditura: viene così dimostrato in modo diretto che il dualismo onda-particella vale anche per l'antimateria e, in particolare, per il positrone, l'antiparticella dell'elettrone. Questa sua caratteristica è stata ricavata osservando per la prima volta l'interferenza di onde di antimateria con singoli positroni, e conferma che le leggi della meccanica quantistica valgono anche per l'antimateria.

Si tratta della versione con singole particelle di antimateria dell'esperimento di interferenza della doppia fenditura, realizzato per la prima volta con fotoni da Thomas Young, proposto poi a livello concettuale con singole particelle da Albert Einstein, e quindi realizzato con singoli elettroni da Gian Franco Missiroli, Pier Giorgio Merli e Giulio Pozzi e pubblicato nel 1976.

I ricercatori del Politecnico di Milano, dell'INFN, dell'Università degli Studi di Milano e del Centro Albert Einstein (AEC) per la Fisica Fondamentale e Laboratorio di Fisica delle Alte Energie (LHEP) dell'Università di Berna, sono, infatti, riusciti nella sofisticata impresa di realizzare l'esperimento impiegando singoli positroni. L'esperimento si basa sulla tecnica dell'interferometria: 'le onde' di antimateria, generate da un singolo positrone, quando interferiscono costruttivamente collassano e si localizzano in un punto, comportandosi come una singola particella. Lo studio è stato pubblicato il 3 maggio, su [Science Advances](#). ■



RICERCA APPLICATA

I MODELLI STATISTICI DELLA FISICA PER STUDIARE LE MUTAZIONI GENETICHE DEL CANCRO

La rivista *Nature Genetics* ha pubblicato il 20 maggio un importante risultato ottenuto da un team di ricerca italiano che ha studiato le cause delle alterazioni geniche più frequenti per lo sviluppo del cancro, chiamate “traslocazioni cromosomiche”. Il team ha scoperto che il danno al DNA tende ad avvenire all’interno di specifici geni, e in momenti precisi della loro attività, che possono essere individuati con un buon livello di accuratezza. Non tutti i geni soggetti a rottura, però, inducono mutazioni legate al cancro, come le traslocazioni, ma tipicamente quelli che entrano più spesso in contatto fisico tra loro all’interno della struttura 3D dei cromosomi.

Lo studio, guidato da un team di ricerca dell’Istituto Europeo di Oncologia e dell’Università di Milano ha coinvolto anche fisici dell’INFN che hanno sviluppato innovativi modelli statistici basati su dati di nuove tecnologie, come le cosiddette tecniche Hi-C che consentono di misurare la probabilità di contatto fisico tra coppie di siti di DNA, per tutte le possibili coppie. Questi modelli sono stati impiegati nell’analisi dati per comprendere i meccanismi molecolari che legano l’insorgere delle traslocazioni all’architettura tridimensionale del nostro genoma, cioè al modo in cui si organizza nello spazio il nostro DNA.

I cromosomi hanno, infatti, una complessa organizzazione 3D nel nucleo cellulare, che serve per il corretto adempimento delle funzionali vitali. Il modo in cui i cromosomi si ripiegano in 3D rimane però in gran parte sconosciuto; in particolare, non è chiaro in che modo le mutazioni legate alle malattie (ad es. riarrangiamenti del DNA come inversioni o traslocazioni) modifichino l’architettura dei cromosomi influenzando così la regolazione genica. ■



RICERCA APPLICATA

STROMBOLI: REALIZZATA LA PRIMA RADIOGRAFIA MUONICA DEL VULCANO

Per la prima volta è stata realizzata una muografia del vulcano Stromboli, frutto della collaborazione di un gruppo di ricercatori dell'INFN e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

in collaborazione con Istituti di ricerca giapponesi.

I risultati della prima radiografia muonica del vulcano Stromboli, pubblicati sulla rivista internazionale *Scientific Reports di Nature* ([link al paper](#)), hanno rivelato la presenza di una zona a bassa densità nell'area sommitale del vulcano. Questa zona corrisponde a una struttura di collasso formatasi nell'area dei crateri durante l'eruzione effusiva del 2007 e successivamente riempita da materiale piroclastico incoerente prodotto dall'attività esplosiva stromboliana.

La muografia o radiografia muonica è una tecnica che utilizza i muoni, particelle che vengono prodotte quando i raggi cosmici provenienti dallo spazio interagiscono con l'atmosfera terrestre, per ricostruire un'immagine della struttura interna di un oggetto. La tecnica si basa su un principio simile a quello della radiografia che utilizza raggi X ma, rispetto a questa, presenta il vantaggio di poter essere impiegata per investigare oggetti molto più grandi, come i vulcani, appunto, perché i muoni hanno una capacità di penetrazione nella materia molto maggiore rispetto ai raggi X. Il rivelatore è stato posizionato nel sito Le Rocchette, a 640 metri di quota e ha raccolto per circa 5 mesi le tracce dei muoni che hanno attraversato il vulcano. Radiografie periodiche della sommità del vulcano potranno essere usate per monitorare l'evoluzione della sua struttura interna. ■



PUBLIC ENGAGEMENT

INAUGURATA A TORINO LA MOSTRA "UOMO VIRTUALE. CORPO, MENTE, CYBORG"

Ha aperto il 4 maggio al Mastio della Cittadella di Torino “Uomo Virtuale. Corpo, Mente, Cyborg”, una grande mostra a cura dell’INFN, che racconta l’uomo con gli occhi della scienza e della tecnologia: un percorso virtuale di 1000 mq animato da installazioni ed exhibit didattico-interattivi che unisce scienza, multimedia e video-arte. La mostra invita il pubblico a intraprendere un viaggio scientifico e tecnologico che comincia all’inizio del Novecento, con la scoperta dei raggi X, e porta al futuro con le nuove frontiere dell’imaging e della robotica: l’uomo scomposto, analizzato, studiato, e ricostruito grazie a occhi tecnologici, inquadrature virtuali e protesi bioniche che compongono un corpo nuovo. La mostra è realizzata in collaborazione con l’Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) e con il sostegno della Compagnia di San Paolo, il contributo della Regione Piemonte e della Fondazione Palazzo Blu e con il supporto dell’Associazione CentroScienza Onlus. Sono partner scientifici: Politecnico di Torino, Neuroscience Institute Cavalieri Ottolenghi (NICO), Neuroscience Institute Torino (NIT) dell’Università di Torino, Istituto Nazionale di Neuroscienze (INN), la Fondazione Centro Conservazione e Restauro “La Venaria Reale” e il Museo Regionale Scienze Naturali della Regione Piemonte. La mostra è visitabile fino al 13 ottobre 2019. ■

» **FOCUS**



**STRATEGIA EUROPEA DELLA
FISICA DELLE PARTICELLE:
A GRANADA L'AGGIORNAMENTO
DEI LAVORI PER LA NUOVA
ROADMAP**

La comunità europea della fisica delle particelle si è ritrovata dal 13 al 16 maggio a Granada, in Spagna, per discutere i prossimi passi che segneranno la strada della ricerca in questo ambito della fisica, non solo in Europa. L'obiettivo è, infatti, definire e delineare le priorità scientifiche e gli sviluppi tecnologici su cui concentrarsi nei prossimi anni, per costruire i futuri programmi, a medio e lungo termine. In particolare, al centro delle discussioni c'è stata la valutazione delle macchine acceleratrici e degli esperimenti di prossima generazione, vale a dire i successori di LHC e dei suoi rivelatori, quando questi giungeranno al termine della loro attività scientifica nel 2035. Le discussioni si sono dunque concentrate sulla portata scientifica e di scoperta dei potenziali nuovi progetti, sulle sfide tecnologiche associate alla loro realizzazione e sulle risorse necessarie per portare a compimento i progetti.

In particolare, una delle raccomandazioni del precedente aggiornamento della strategia europea, nel maggio 2013, era condurre studi di progettazione e fattibilità per un ambizioso progetto di accelerazione post-LHC. In questi ultimi anni, quindi, in collaborazione con partner di tutto il mondo, l'Europa si è impegnata in progetti di ricerca e sviluppo di acceleratori: in particolare, CLIC (*Compact Linear Collider*), una macchina lineare in cui far collidere frontalmente elettroni e positroni, che possa in fasi successive raggiungere energie fino ad alcuni teraelettronvolt (TeV) con l'obiettivo di scoprire la nuova fisica attraverso misure di precisione delle proprietà del modello standard e la rivelazione diretta di nuove particelle; e FCC (*Future Circular Collider*), un collisore circolare con prestazioni più elevate di LHC, sia in energia che in intensità, che propone scenari per tre possibili diversi tipi di collisioni di particelle: tra adroni (protone-protone e ioni pesanti) come in LHC, elettrone-positrone come in LEP, e elettroni-protoni. Nel 2016 è stato lanciato dal CERN anche uno studio per indagare la possibilità di costruire progetti complementari ai collisori di alta energia, sfruttando le opportunità offerte dall'esclusivo complesso di acceleratori del CERN: contributi questi che sono stati

» FOCUS

considerati nella discussione tenendo conto ovviamente anche del panorama mondiale della fisica delle particelle e degli sviluppi nei campi correlati.

Nelle giornate di lavoro a Granada si è dedicato ampio spazio anche a sviluppi alternativi, evidenziando la potenzialità di un collisore a muoni ad alta energia, dove si richiede di concentrare uno sforzo internazionale di ricerca e sviluppo per dimostrarne la fattibilità e l'operatività, ad esempio nel tunnel di LHC. Nuove tecniche di accelerazione come il plasma, anche applicato ai muoni, sono la nuova frontiera che si sta avvicinando all'orizzonte.

Per realizzare questi ambiziosi progetti è necessario mantenere e coltivare le competenze, sia nel campo degli acceleratori sia nella costruzione dei grandi apparati di rivelazione e nel calcolo. È sempre più importante riconoscere i meriti delle comunità che lavorano in questi campi, che mantengono i rapporti con le industrie e che si adoperano nelle realtà nazionali per far maturare e crescere le competenze, irrinunciabili nel campo della fisica delle particelle, con forti ricadute in tutti gli altri campi di sviluppo tecnologico. In questo contesto, è stata sottolineata anche l'importanza di valorizzare e favorire la sinergia tra i grandi laboratori nazionali distribuiti nei vari Paesi, e di investire nella formazione delle nuove generazioni di fisici.

Le giornate di lavoro a Granada sono state l'occasione anche per un confronto con le comunità scientifiche impegnate in altri ambiti della fisica fondamentale, come la fisica delle astroparticelle e la fisica nucleare. Al simposio appena conclusosi seguirà la compilazione di un *Briefing Book*, e in una *Strategy Drafting Session* che si terrà a Bad Honnef, in Germania, dal 20 al 24 gennaio 2020, verrà stilato il documento programmatico con le raccomandazioni proposte. L'aggiornamento della strategia europea per la fisica delle particelle è previsto concludersi con l'approvazione di questo documento da parte del Council del CERN, tra un anno, nel maggio 2020. ■

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

COORDINAMENTO:

Francesca Scianitti

REDAZIONE

Eleonora Cossi

Francesca Mazzotta

Francesca Scianitti

Antonella Varaschin

GRAFICA:

Francesca Cuicchio

TRADUZIONI:

ALLtrad

ICT SERVICE:

Servizio Infrastrutture e Servizi Informatici Nazionali INFN

CONTATTI

Ufficio Comunicazione INFN

comunicazione@presid.infn.it

+ 39 06 6868162

Immagine di copertina

La *European Strategy for Particle Physics* si è tenuta a Granada dal 13 Maggio al 16 Maggio 2019.
