



NEWSLETTER 75

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

INTERVISTA



IL COMPUTER DEL FUTURO È QUANTISTICO: L'ITALIA NEL PROGETTO STATUNITENSE PER IL QUANTUM COMPUTING

Intervista ad Anna Grassellino, direttrice del Quantum Materials and Systems Center (SQMS) e ricercatrice al Fermilab di Chicago, p. 2

NEWS

RICERCA

- AUGER MISURA LO SPETTRO IN ENERGIA DEI RAGGI COSMICI SUPERENERGETICI, p. 6
- VIRGO E LIGO SVELANO NUOVE E INASPETTATE POPOLAZIONI DI BUCHI NERI, p. 9
- DALLA RICERCA ITALIANA UNA SFIDA ALLA MECCANICA QUANTISTICA, p. 10

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

- L'INFN CAPOFILA DEI PROGETTI ET ED EUPRAXIA PRESENTATI A ESFRI, p. 7

GRANT

- ERC: STARTING GRANT DI QUASI 1,5 MILIONI DI EURO PER LA RICERCA DELLA MATERIA OSCURA CON IL PROGETTO POKER, p. 8

APPLICAZIONI

- RAFFAELLO DA VICINO: PRESENTATI I RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLA FORNARINA, p. 11

FOCUS



ATTESA PER I PRIMI RISULTATI DI MUON G-2, p. 12

» INTERVISTA



IL COMPUTER DEL FUTURO È QUANTISTICO: L'ITALIA NEL PROGETTO STATUNITENSE PER IL QUANTUM COMPUTING

Intervista ad Anna Grassellino, direttrice del Quantum Materials and Systems Center (SQMS) e ricercatrice al Fermilab di Chicago.

Imbrigliare le proprietà quantistiche per realizzare un calcolatore e sensori con prestazioni mai raggiunte. Sarà questa, nei prossimi cinque anni, la principale mission del Superconducting Quantum Materials and Systems Center (SQMS), centro di ricerca coordinato dal Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory), che alla fine di agosto si è aggiudicato un finanziamento di 115 milioni di dollari da parte del Department of Energy (DOE) degli Stati Uniti nell'ambito della National Quantum Initiative. Un traguardo per il cui perseguimento SQMS sarà chiamato a superare le sfide tecnologiche e scientifiche che attengono all'innovativo settore dell'informazione quantistica, a partire da quelle che riguardano lo sviluppo e la costruzione di materiali superconduttivi in grado di prolungare il tempo di vita medio dei qubit, le unità alla base del funzionamento dei computer quantistici. Fondamentale, per raggiungere simili obiettivi, sarà anche il ruolo svolto dall'INFN che, grazie a un contributo di 1,5 milioni di dollari, collaborerà all'iniziativa fornendo le sue competenze e capacità, riconosciute a livello mondiale, nei campi della fisica teorica e nello sviluppo dei sensori di precisione, e mediante la costruzione di una facility test per la validazione dei dispositivi quantistici all'interno dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso. A coordinare le attività del progetto, la direttrice di SQMS Anna Grassellino, ricercatrice di origine italiana del Fermilab, che ha iniziato la sua carriera all'INFN.*

Quali sono gli obiettivi che SQMS si prefigge?

Sono due gli obiettivi principali di SQMS e afferiscono alle due principali aree di ricerca del centro, che sono quella del *computing* e quella del *sensing*. Il primo obiettivo è costruire un computer quantistico che abbia *performance* superiori rispetto a calcolatori simili costruiti finora. Il secondo riguarda invece la realizzazione di sensori che sfruttino i progressi che ci aspettiamo di ottenere con le tecnologie superconduttive quantistiche per la ricerca della materia oscura o di particelle elusive quali potrebbero per esempio essere i fotoni oscuri.

» INTERVISTA

Nell'ambito delle tecnologie quantistiche, quali sono i problemi che devono essere superati per sperare di realizzare computer quantistici con prestazioni simili a quelle a cui siamo abituati con la tecnologia oggi a disposizione?

Per ottenere i risultati appena descritti, sarà di fondamentale importanza aumentare la coerenza quantistica dei dispositivi oggi a disposizione, i qubit, i quali si differenziano per le soluzioni adottate per la loro produzione. È infatti la coerenza, ovvero la capacità di evitare la perdita dell'informazione il vero limite delle tecnologie quantistiche. Da essa dipende infatti la vita media dei qubit, che è oggi molto limitata. Per aumentare la coerenza, il nostro centro si concentrerà sulla superconduttività e sullo sviluppo di qubit bidimensionali e tridimensionali più performanti basati su questa tecnologia. La ragione di questa scelta dipende dal fatto che il Fermilab ha una consolidata esperienza nella realizzazione delle cavità superconduttive, da cui dipendono i qubit tridimensionali, di cui abbiamo già dimostrato il funzionamento a regimi quantistici. Mentre il nostro partner industriale, l'azienda Rigetti, che ha sede nella Silicon Valley, in California, è in grado di fornirci qubit bidimensionali superconduttivi su cui lavorare.

Per comprendere meglio che cosa sia il quantum computing, può spiegare cosa sia un qubit?

Dal punto di vista di un computer quantistico, un qubit è un dispositivo in cui risiede l'unità informativa del calcolatore, che è grado di trovarsi sia in due stati distinti, 0 e 1, come in un bit classico, sia in una sovrapposizione di stati. Questo è possibile proprio in virtù del principio di sovrapposizione della meccanica quantistica. Tale possibilità, che nel computing si traduce in maggiori capacità di calcolo ed esecuzione, può essere realizzata in maniera diversa a seconda delle architetture con cui vengono prodotti i qubit: assumendo che all'interno di questi dispositivi sia presente un singolo fotone, questo, se non misurato, si troverà in una sovrapposizione di stati. Detto questo, nei qubit che utilizziamo risiede invece un numero discreto di fotoni, che a loro volta si troveranno in una sovrapposizione di stati. È quindi molto importante portare avanti lo studio della fisica dei materiali e della superconduttività per migliorare i processi di produzione di questi oggetti, in modo tale da evitare che ci sia assorbimento dei fotoni e quindi perdita di informazione.

In che modo l'INFN contribuirà alle attività di SQMS?

Oltre alle aree di ricerca già indicate, SQMS conta quelle relative a fisica e algoritmi. L'INFN contribuirà a tutte e quattro le attività legate a queste aree. In particolare, la *facility* che nascerà ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso sarà fondamentale per studiare come la radioattività influenzi la coerenza dei qubit. Grazie alla loro collocazione e alla schermatura fornita dalle pareti di roccia, i laboratori del Gran Sasso

» INTERVISTA

presentano, infatti, una bassissima radioattività naturale. Sfrutteremo anche i sistemi criogenici lì in uso per esperimenti come CUORE per raffreddare i nostri dispositivi, cercando di aumentare il loro tempo di vita medio. I laboratori, saranno infine responsabili del controllo e della caratterizzazione degli stessi qubit. L'INFN parteciperà inoltre allo sviluppo degli algoritmi e fornirà il suo supporto nello studio rivolto all'individuazione di un metodo di utilizzo dei sensori che verranno realizzati nel campo della ricerca della materia oscura.

Quali saranno le sue responsabilità in qualità di direttrice del centro?

Sono molto emozionata per la recente nomina, anche se comporterò ovviamente importanti responsabilità, tra cui il coordinamento degli oltre 200 collaboratori che fanno parte di SQMS. Un ruolo più manageriale rispetto a quanto fossi abituata, ma questo non vuol dire che abbandonerò la ricerca. Anzi, mi impegnerò per cercare di portare avanti l'attività di laboratorio in parallelo con quella di direttrice, puntando al contempo a promuovere il progresso nel settore delle tecnologie quantistiche.

Lei fa parte della categoria di scienziati di grande successo che ha deciso di costruire la sua carriera all'estero. Ci può raccontare la sua storia e le ragioni che l'hanno portata negli Stati Uniti?

Sono partita da Marsala e ho studiato a Pisa, dove mi sono laureata in ingegneria elettronica. Dopo di che, sono arrivata al Fermilab come *summer student* nell'ambito di un programma di scambio dell'INFN, che può essere considerato come il mio trampolino di lancio. Al Fermilab sono rimasta piacevolmente colpita dall'atmosfera internazionale che si respirava nel centro. Ragione che mi ha spinto a tornare negli Stati Uniti per conseguire un dottorato in fisica alla University of Pennsylvania, con una tesi presso il TRIUMF, l'acceleratore di particelle canadese. In seguito, sono stata assunta al Fermilab, dove sono rimasta. I motivi che mi hanno portato fuori dall'Italia sono quindi legati più al fatto di essermi appassionata al lavoro che si svolgeva qui che non alla possibilità di avere maggiori opportunità. Non mi definisco infatti un cervello in fuga e non mi piace neanche parlarne, anche perché il rapporto tra il Fermilab e l'INFN dura da 40 anni e i contatti con i miei colleghi in Italia sono costanti. Inoltre, quando si parla di *big science*, che ha una dimensione e una propensione globale, questa definizione perde significato, e di questo l'INFN è consapevole, in quanto è una delle poche realtà italiane ad attrarre molti ricercatori dall'estero. ■

**Nata a Marsala, Anna Grassellino ha conseguito il dottorato di ricerca in fisica presso l'Università della Pennsylvania e la laurea in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Pisa. Oggi vive negli Stati Uniti, a Batavia, in Illinois, dove è Senior Scientist, Deputy Chief Technology Officer e Deputy*

» INTERVISTA

Head of Applied Physics and Superconducting Technology Division presso il Fermilab. La sua area di ricerca è la superconduttività a radiofrequenza, tecnologia chiave per acceleratori e rivelatori di particelle e per applicazioni quantistiche. È nota per la scoperta del drogaggio con azoto delle cavità SRF (cavità superconduttive a radiofrequenza), che ha potenziato le prestazioni degli acceleratori in tutto il mondo. Il suo lavoro pionieristico sull'aumento del fattore di qualità delle cavità SRF le è valso il riconoscimento con diversi premi tra cui il Presidential Early Career Award da parte del Presidente Obama, il DOE Early Career Award, il IEEE Particle and Accelerator Science and Technology Award e il Frank Sacherer Prize. Ricopre inoltre una posizione di professore a contratto presso la Northwestern University.



RICERCA

AUGER MISURA LO SPETTRO IN ENERGIA DEI RAGGI COSMICI SUPERENERGETICI

La collaborazione internazionale dell'Osservatorio Pierre Auger, situato nella Pampa Amarilla, in Argentina, ha misurato lo spettro energetico dei raggi cosmici di altissima energia con una precisione mai ottenuta prima. Raggi cosmici di questo tipo sono costituiti da nuclei atomici prodotti in sorgenti extragalattiche e possono raggiungere energie estreme, pari a 100 miliardi di miliardi di elettronvolt. Grazie all'altissima precisione della misura, la Collaborazione Auger ha riportato la prima osservazione di un repentino cambio di pendenza a circa 13 miliardi di miliardi di elettronvolt nella curva che descrive l'andamento dello spettro in funzione dell'energia. Questo risultato è particolarmente importante e fornisce un'ulteriore evidenza del fatto che la composizione chimica dei raggi cosmici possa variare con l'energia. Il risultato, che ha portato alla pubblicazione di due articoli sulle riviste scientifiche *Physical Review Letters* e *Physical Review D*, selezionati negli *Highlights dell'American Physical Society (APS)*, è stato ottenuto grazie alla rivelazione di oltre 215.000 sciami atmosferici di raggi cosmici di altissima energia osservati in circa 15 anni di presa dati.

L'Osservatorio è gestito da una collaborazione internazionale di oltre 400 scienziati provenienti da 17 Paesi diversi, a cui l'Italia partecipa in modo determinante con diversi gruppi di università e Sezioni INFN, i Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, il GSSI e l'Osservatorio Astrofisico di Torino dell'INAF. Nel prossimo futuro, grazie anche al contributo INFN, le prestazioni del rivelatore saranno ulteriormente migliorate a seguito del potenziamento, attualmente in corso, dei rivelatori di superficie. ■



COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

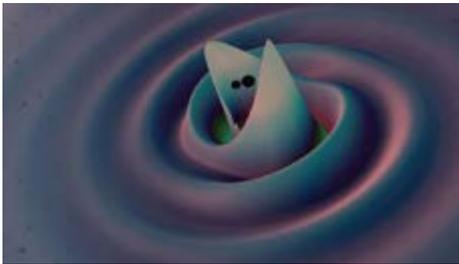
L'INFN CAPOFILA DEI PROGETTI ET ED EUPRAXIA PRESENTATI A ESFRI

ET Einstein Telescope ed EuPRAXIA: due grandi infrastrutture di ricerca europee che promettono di essere competitive a livello mondiale, rispettivamente nella ricerca sulle onde gravitazionali e nello sviluppo di acceleratori di particelle al plasma. Sono questi i progetti internazionali di cui l'INFN è capofila, e che il MUR ha candidato per la prossima Roadmap 2021 di ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructure*), il forum strategico che individua le grandi infrastrutture di ricerca su cui investire in futuro a livello europeo. L'Italia, con la Sardegna, è uno dei due siti candidati a ospitare ET, e vi partecipa con l'INFN, l'INAF e l'INGV, e le Università di Sassari e Cagliari. Per EuPRAXIA, cui il nostro Paese partecipa con l'INFN, il CNR, le Università di Roma Sapienza e Tor Vergata, l'ENEA ed Elettra Sincrotrone Trieste, è stato già deciso dalla comunità scientifica internazionale che la sede principale sarà ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN.

ET Einstein Telescope è un progetto per la realizzazione di un osservatorio terrestre per le onde gravitazionali: un interferometro sotterraneo di forma triangolare con bracci lunghi 10 km, che utilizzerà tecnologie estremamente potenziate rispetto alle attuali. Lo scopo principale del progetto EuPRAXIA consiste invece nella realizzazione di una nuova generazione di acceleratori di particelle al plasma, in grado di ottenere energie superiori rispetto a quelle raggiunte dagli attuali acceleratori con costi e dimensioni ridotte. ■

**GRANT****ERC: STARTING GRANT DI QUASI 1,5 MILIONI DI EURO PER LA RICERCA DELLA MATERIA OSCURA CON IL PROGETTO POKER**

Andrea Celentano, ricercatore dell'INFN alla Sezione di Genova, è risultato vincitore di un ERC Starting Grant del valore di 1,484 milioni di euro, con il progetto POKER (*POsitron resonant annihilation into darK mattER*), dedicato alla ricerca di materia oscura leggera. L'obiettivo del progetto POKER, approvato per 5 anni a partire da dicembre 2020, è studiare e dimostrare la fattibilità di un approccio per la ricerca di materia oscura leggera, con misure realizzate facendo collidere un fascio energetico di positroni su un bersaglio spesso. L'idea alla base dell'esperimento è quella oggi implementata anche da altri esperimenti, come PADME ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, ossia utilizzare fasci di positroni accelerati che collidono su un bersaglio fisso per produrre particelle di materia oscura leggera. Per misurare i possibili eventi di segnale di materia oscura leggera, POKER utilizza la tecnica della "energia mancante". Il rivelatore è il bersaglio stesso, capace di misurare per ciascun positrone incidente l'energia totale depositata al suo interno. Nel caso di eventi di fondo, l'intera energia del positrone incidente è depositata nel bersaglio e nei sistemi di veto attivo che lo circondano. Nel caso di produzione di materia oscura leggera, invece, quest'ultima sfuggirebbe dal rivelatore portando con sé una grande frazione dell'energia del positrone incidente: l'energia misurata dal bersaglio attivo risulterebbe, quindi, significativamente inferiore a quella del fascio. ■



RICERCA

**VIRGO E LIGO SVELANO NUOVE E INASPETTATE
POPOLAZIONI DI BUCHI NERI**

Gli interferometri per onde gravitazionali Virgo e LIGO hanno osservato la fusione di due buchi neri di 66 e 85 masse solari.

Il risultato è un buco nero finale di circa 142 masse solari, un buco nero di “massa intermedia”, come sono definiti quelli la cui massa è compresa fra le centinaia e le centinaia di migliaia di masse solari. Nessun buco nero di questo tipo è mai stato osservato prima con le onde gravitazionali o con radiazione elettromagnetica; la sua osservazione può quindi fornire informazioni utili a spiegare la formazione dei buchi neri supermassicci, giganti milioni di volte più pesanti del Sole, che potrebbero derivare dalla fusione di buchi neri di massa intermedia.

Inoltre, il più massiccio dei due buchi neri di cui è stata osservata la fusione sfida la nostra comprensione dei meccanismi di formazione dei buchi neri stessi: sulla base dei modelli attuali, un buco nero di 85 masse solari non può formarsi dal collasso di una stella massiccia. Questa rilevazione apre quindi nuove prospettive sullo studio delle stelle massicce e dei meccanismi delle supernovae.

La distanza di luminosità della sorgente che ha prodotto il segnale dell’onda gravitazionale, rivelato dai tre interferometri della rete globale il 21 maggio 2019 e chiamato GW190521, è stata stimata essere di circa 17 miliardi di anni luce. Due articoli scientifici, che riportano la scoperta e le sue implicazioni astrofisiche, sono stati pubblicati il 2 settembre, rispettivamente su *Physical Review Letters* e *Astrophysical Journal Letters*. ■



RICERCA

DALLA RICERCA ITALIANA UNA SFIDA ALLA MECCANICA QUANTISTICA

La rivista *Nature Physics* ha pubblicato lo scorso 7 settembre uno studio teorico e sperimentale realizzato da un team a cui partecipano ricercatori del Centro Ricerche Enrico Fermi, dell'INFN e dell'Università di Trieste. La pubblicazione presenta i risultati di una ricerca dedicata alla verifica del modello di collasso quantistico proposto da Lajos Diósi e Roger Penrose (modello DP). La fase di misure è stata condotta nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, mentre l'analisi teorica è stata coordinata dall'Università degli Studi di Trieste.

La caratteristica fondamentale dei sistemi quantistici è la possibilità di vivere nella sovrapposizione di stati differenti, ma il motivo per cui ciò accade non è chiaro ed è oggetto di intense ricerche. Secondo il modello DP, una sovrapposizione spaziale quantistica diventa instabile e decade per effetto della gravità, in un tempo tanto più breve quanto più l'oggetto è massiccio. Il collasso genererebbe un moto casuale, un tremolio di fondo, che nel caso di elettroni e protoni si accompagna all'emissione di una caratteristica ma debole radiazione elettromagnetica. Il team di ricerca è andato alla caccia di questa radiazione, rivelando un segnale mille volte più basso di quanto previsto dal modello DP. La misura stabilisce quindi un record in questo tipo di studi. ■



APPLICAZIONI

RAFFAELLO DA VICINO: PRESENTATI I RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLA FORNARINA

Sono stati presentati il 21 settembre, alle Gallerie Nazionali di Arte Antica di Palazzo Barberini, i risultati della campagna di indagini sulla Fornarina di Raffaello, realizzata dal 28 al 30 gennaio scorso con tecniche innovative e macchine d'avanguardia, alla quale sono poi seguiti mesi di approfondimento e valutazione storico scientifica dei dati acquisiti. La giornata di lavori ha visto protagonisti l'INFN, le Gallerie Nazionali Barberini Corsini, la cooperativa sociale Conservazione Beni Culturali (CBC) e l'ENEA.

Grazie alla nuova campagna di imaging è stato possibile mappare con straordinaria accuratezza la distribuzione degli elementi chimici presenti sulla tavola, risalire così ai pigmenti utilizzati e comprendere il processo esecutivo con cui Raffaello li ha applicati.

I risultati presentati hanno riguardato in particolare l'indagine effettuata con scansione "macro a fluorescenza a raggi X" (MA-XRF), effettuata sulla tavola raffaellesca a cura di Emmebi diagnostica artistica e Ars Mensurae e realizzata con strumenti messi a punto nell'ambito del progetto MUSA (*Multichannel Scanner for Artworks*), un progetto realizzato con il finanziamento dalla Regione Lazio e la collaborazione, in fase di sviluppo, della Sezione di Roma Tre dell'INFN, CHNET (*Cultural Heritage Network*), il CNR ISMN, il Dipartimento di Scienze dell'Università Roma Tre e il Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria della Sapienza Università di Roma. ■

» FOCUS



**ATTESA PER I PRIMI RISULTATI
DI MUON G-2**

Dopo tre anni di attività, la collaborazione internazionale Muon g-2, esperimento del Fermilab dedicato alla misura di precisione del momento magnetico anomalo del muone, si prepara a rendere noti i primi risultati, che potrebbero aprire la strada a una nuova fisica. L'analisi dei dati raccolti finora potrebbe infatti fare luce su una nuova classe di costituenti subatomici associati alle fluttuazioni del cosiddetto falso vuoto, il campo quantistico che pervade lo spazio apparentemente privo di materia. A coordinare le attività previste durante la fase che precederà la pubblicazione, Graziano Venanzoni, ricercatore INFN della sezione di Pisa, recentemente eletto dalla collaborazione Muon g-2 come nuovo portavoce dell'esperimento, una nomina che arriva anche a riconoscimento del fondamentale ruolo svolto dall'INFN all'interno del progetto.

Una delle proprietà delle particelle cariche dotate di rotazione propria (*spin*) è il fatto di possedere un momento magnetico, che, per usare un'analogia, può essere equiparato al campo magnetico dall'ago di una bussola. Nella famiglia dei leptoni, di cui fanno parte muoni, elettroni e tauoni, il momento magnetico si contraddistingue tuttavia per una peculiarità ascrivibile a queste sole particelle che manifestano un valore di momento magnetico diverso da quanto previsto dal modello standard (pari a 2). Il discostamento dalle previsioni teoriche è calcolato sottraendo al valore misurato, indicato con la lettera *g*, quello previsto dalla teoria (da qui il nome dell'esperimento Muon g-2). L'esistenza dell'anomalia fu rivelata per la prima volta nel 1947 nell'elettrone, grazie a un esperimento condotto da Polykarp Kusch e Henry Foley, scoperta che valse ai due fisici il Nobel nel 1955. La conferma più recente risale invece ai primi anni 2000, e si deve all'esperimento E821 del Brookhaven National Laboratory di Upton, il quale si è concentrato sullo studio dei muoni.

Al fine di spiegare l'anomalia del momento magnetico, è stata proposta l'esistenza di interazioni tra i

» FOCUS

muoni e le particelle virtuali generate dalle costanti fluttuazioni dell'energia del vuoto quantistico. Per testare questa ipotesi, c'è però bisogno di misurare con precisione assoluta la discrepanza di g rispetto al suo valore teorico. Questo è ciò che si sta facendo con Muon $g-2$ al Fermilab, che punta a fornire la prova definitiva dell'anomalia del momento magnetico del muone, un risultato che potrebbe rivelare informazioni preziose per la futura ricerca delle sconosciute particelle che popolano il falso vuoto.

Frutto di una collaborazione internazionale, a cui l'INFN partecipa con uno dei più numerosi gruppi di ricerca coinvolti, di cui fanno parte le sezioni di Napoli, Pisa, Roma 2, Trieste, il gruppo collegato di Udine e i Laboratori Nazionali di Frascati, Muon $g-2$ sfrutta gli acceleratori del Fermilab per generare fasci di muoni con velocità prossime a quella della luce. Una volta immagazzinati all'interno di un magnete circolare, i muoni raggiungono i rivelatori dell'esperimento. Per aumentare le prestazioni di Muon $g-2$, che si prefigge di migliorare di quattro volte la precisione delle misure effettuate a Brookhaven, l'esperimento si avvale di 24 calorimetri estremamente sensibili, il cui controllo è affidato a un sistema di calibrazione laser realizzato dall'INFN in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR. Inoltre, per prevenire eventuali errori nell'analisi dati che potrebbero compromettere i risultati di Muon $g-2$, e in particolare quelli legati al condizionamento soggettivo, la collaborazione ha adottato la cosiddetta analisi cieca (*blind analysis*), che prevede l'inserimento di una costante artificiosa e ignota durante l'acquisizione dati, costante che viene svelata solo al termine delle procedure di calcolo. Il contributo dell'INFN riguarda infine anche l'attività di analisi dati dell'esperimento, a cui contribuisce, insieme ad altri cinque gruppi di ricerca, per il 20 per cento. Oltre all'interesse per ciò che potranno rivelare, i primi risultati di Muon $g-2$, che fanno riferimento al suo primo ciclo di presa dati (*run 1*) svoltosi nel 2018, verranno utilizzati per migliorare la precisione dei prossimi risultati che saranno ricavati dalle due prese dati successive del 2019 e 2020. ■

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

COORDINAMENTO:

Francesca Scianitti

REDAZIONE

Eleonora Cossi

Anna Greco

Matteo Massicci

Francesca Mazzotta

Francesca Scianitti

Antonella Varaschin

GRAFICA:

Francesca Cuicchio

TRADUZIONI:

ALLtrad

ICT SERVICE:

Servizio Infrastrutture e Servizi Informatici Nazionali INFN

COVER

Pierre Auger Observatory © Steven Saffi

CONTATTI

Ufficio Comunicazione INFN

comunicazione@presid.infn.it
