



NEWSLETTER 39

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

INTERVISTA



UN OCCHIO PUNTATO SULL'ANTIMATERIA

Intervista a Giovanni Passaleva, ricercatore dell'INFN, da luglio coordinatore della collaborazione internazionale LHCb, al CERN, p. 2

NEWS

RICERCA

LIGO-VIRGO: UNA NUOVA ERA PER LA SCIENZA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI, p. 6

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

INAUGURATO EUROPEAN XFEL, p. 7

EVENTI

10 ANNI DI BOREXINO p. 8

RICERCA

CASSIOPEIA A NON È IL SUPERACCELERATORE COSMICO CHE SI PENSAVA, p. 9

OUTREACH

L'ITALIA E I PROGRAMMI INTERNAZIONALI PER LA SCUOLA, p. 10

FOCUS



MESSAGGERI DI GALASSIE LONTANE p. 11

» INTERVISTA



UN OCCHIO PUNTATO SULL'ANTIMATERIA

Intervista a Giovanni Passaleva, ricercatore dell'INFN, da luglio coordinatore della collaborazione internazionale LHCb, al CERN.

Progettato per misurare le differenze di comportamento tra materia e antimateria all'energia di LHC, l'esperimento LHCb al CERN registra il decadimento dei mesoni B, particelle instabili contenenti un anti-quark b e un quark di altro tipo (up, down, strange o charm), prodotte in grande quantità nelle collisioni di alta energia tra i protoni dei fasci di LHC. In particolare, LHCb indaga le ragioni dell'assenza nell'universo attuale delle particelle di antimateria che si prevede fossero molto abbondanti subito dopo il Big Bang. I fisici ritengono infatti che dallo studio e dalla comparazione dei decadimenti dei mesoni B e dei corrispondenti anti-mesoni B sia possibile ottenere importanti informazioni sulle differenze tra materia e antimateria.

Tra le sfide raccolte dal responsabile internazionale dell'esperimento, Giovanni Passaleva, c'è anche quella di condurre LHCb al suo prossimo upgrade, un miglioramento delle prestazioni del rivelatore, a partire dal 2019, che permetterà di esplorare con precisione ancora più estrema fenomeni che potrebbero aprire la strada a nuove scoperte.

LHCb nasce con un obiettivo definito, sebbene lo spettro in cui si muove l'esperimento sia ampio. Un obiettivo affascinante e difficile: svelare il mistero dell'attuale asimmetria tra materia e antimateria. Su quali ipotesi si basa il programma di ricerca di LHCb?

In base a quanto sappiamo oggi sulle particelle elementari e sulle forze con cui esse interagiscono tra di loro, possiamo affermare che nei primi istanti di vita dell'universo dopo il Big Bang c'era perfetta simmetria tra materia e antimateria. Questa simmetria è scomparsa durante l'evoluzione dell'universo, tanto è vero che oggi ciò che conosciamo è formato quasi esclusivamente di materia, mentre l'antimateria si produce solo per brevi istanti in reazioni nucleari o nelle collisioni tra particelle negli acceleratori o nei raggi cosmici.

» INTERVISTA

Negli anni '60 si è scoperto che la natura non è perfettamente simmetrica tra materia e antimateria ma esiste una piccolissima differenza che si manifesta in certi particolari decadimenti regolati dalla forza debole. La violazione della simmetria materia-antimateria va sotto il nome di “violazione della simmetria CP”, essendo CP un’operazione matematica (“simmetria”) che trasforma una particella nella sua corrispondente antiparticella. La “violazione di CP” è un fenomeno ormai ben noto e ben studiato ma, in base a considerazioni legate alla cosmologia, sappiamo che gli effetti di violazione di CP che osserviamo non sono sufficienti a spiegare il livello di asimmetria materia-antimateria nell’universo attuale. Ci devono perciò essere altre fonti di asimmetria legate a fenomeni fisici attualmente sconosciuti che, una volta individuati, potrebbero dirci molte cose sulle grandi questioni ancora aperte nella fisica moderna. LHCb è stato pensato proprio per dare la caccia a questi fenomeni e spiegare, in ultima analisi, perché l’universo si è evoluto così come lo conosciamo oggi.

Ad oggi, quali tasselli siete riusciti a ricomporre per spiegare l’assenza di antimateria nel nostro universo?

L’asimmetria materia-antimateria è stata osservata e studiata in molti decadimenti diversi di particelle come i mesoni K o i mesoni B, e la teoria delle particelle elementari, il Modello Standard, è in grado di spiegare in modo molto accurato, in un contesto teorico coerente, tutte le osservazioni sperimentali. Tuttavia, come ho detto prima, ciò non è sufficiente a spiegare l’attuale struttura dell’universo. LHCb sta cercando in molti modi diversi di evidenziare possibili nuove fonti di asimmetria, ad esempio confrontando tra di loro molti decadimenti diversi oppure cercando la violazione di CP in fenomeni in cui essa non è prevista dalla teoria, come ad esempio nei decadimenti del quark charm.

La caccia alla “nuova fisica”, ai fenomeni che non sono descritti dall’attuale teoria delle particelle elementari, il Modello Standard, è tra gli obiettivi di tutti gli esperimenti di LHC. Come sta andando?

L’assenza di segnali evidenti di nuove particelle nelle numerosissime analisi effettuate dagli esperimenti ATLAS e CMS rende la caccia alla nuova fisica difficile ma al contempo sempre più affascinante. Sappiamo che qualcosa di nuovo e di imprevisto ci deve essere, poiché il Modello Standard non è in grado di spiegare fenomeni molto rilevanti come ad esempio la materia oscura o l’asimmetria materia-antimateria, ma non abbiamo un quadro teorico di riferimento ben chiaro. Si apre perciò una fase di grande creatività scientifica in cui nuove tecnologie, nuove tecniche sperimentali, e metodi di analisi dei dati sempre più raffinati si sposano con nuovi modelli teorici. Rispetto al recente passato in cui la teoria ha guidato gli esperimenti, portando per esempio alla scoperta delle particelle Z e W o del bosone di Higgs, ora la situazione è ribaltata e i grandi esperimenti stanno esplorando un ampio spettro di possibili segnali di nuova fisica.

» INTERVISTA

LHCb dal canto suo, contribuisce a questa “fase creativa” studiando con precisione sempre maggiore decadimenti e processi estremamente rari, alla ricerca di un qualche piccolo indizio che riveli la presenza di qualcosa di nuovo e inatteso

Quali sono le principali differenze tra LHCb e gli altri esperimenti di LHC?

La prima differenza evidente è la struttura del rivelatore. Mentre ATLAS e CMS sono dei grandi cilindri composti da strati successivi di rivelatori coassiali col fascio di LHC, LHCb ha la tipica struttura di un esperimento “a bersaglio fisso” con i rivelatori posti perpendicolarmente e molto vicini al fascio di protoni. Questa particolare geometria è dovuta al fatto che le particelle contenenti quark b e c, principale oggetto di studio di LHCb, vengono prodotti nelle collisioni tra i protoni a un angolo in media molto piccolo rispetto alla direzione del fascio.

La seconda differenza rilevante consiste nel fatto che mentre ATLAS e CMS cercano di osservare in modo diretto nuove particelle, LHCb studia l'effetto che esse possono avere su grandezze fisiche, quali i rapporti di decadimento o le asimmetrie materia-antimateria in decadimenti particolarmente rari dei mesoni B. Questo metodo di ricerca indiretto sfrutta il fatto che, in accordo con la meccanica quantistica, nel decadimento di un mesone B particelle anche molto più pesanti del mesone stesso possono essere create e riassorbite in tempi brevissimi (particelle “virtuali”) e queste, pur non essendo visibili direttamente, influenzano il valore delle grandezze fisiche correlate ai decadimenti che stiamo studiando. Quando il valore misurato e il valore teorico di una o più di queste grandezze differiscono significativamente si ha una chiara evidenza della presenza di nuove particelle. Il metodo indiretto consente di essere sensibili alla presenza di nuove particelle con massa anche molto più alta di quella accessibile all'osservazione diretta.

All'inizio di luglio è stata comunicata la scoperta di Xicc++, una particella conosciuta ma mai osservata prima. Questa scoperta può aprire nuove prospettive?

L'osservazione della nuova particella Xicc++ ha avuto grande risonanza non solo nei media ma anche, e soprattutto, nella comunità scientifica. Particelle in cui due o più quark “pesanti” (b o c) si legano insieme, consentono predizioni teoriche molto accurate di proprietà quali la loro massa o la vita media. Lo strumento principale per queste predizioni è lo studio delle interazioni forti, che legano tra loro, ad esempio, i quark all'interno di protoni e neutroni, e che sono quindi alla base dei mattoni che costituiscono i nuclei atomici e quindi il mondo come lo conosciamo quotidianamente. I vari modelli teorici che descrivono come quark e gluoni si legano insieme a formare i cosiddetti adroni (come neutroni e protoni), possono essere testati in modo molto accurato confrontando le previsioni sulle caratteristiche di particelle come la Xicc++ con l'osservazione sperimentale.

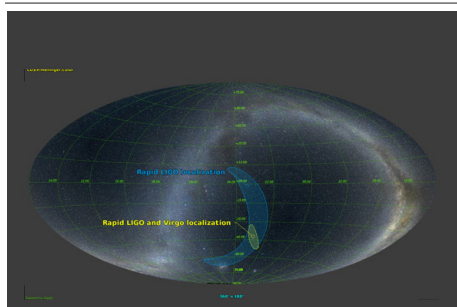
» INTERVISTA

L'osservazione di una particella come la Xicc++ apre la strada a un intero filone di ricerca in cui molte altre particelle "sorelle" della Xicc++, o altre simili che contengono anche un quark b, potranno essere osservate e studiate, permettendo un confronto molto stringente con i modelli teorici, confermandone alcuni e confutandone altri.

Possiamo dire, semplificando un po', che la Xicc++ e le altre particelle simili costituiranno un eccezionale laboratorio per lo studio delle interazioni forti.

Che cosa richiede il ruolo di responsabile di una collaborazione internazionale ampia e culturalmente diversificata come quella degli esperimenti di LHC?

Avendo cominciato da poco, molte cose le devo ancora imparare. Tuttavia ritengo che ci siano almeno due cose fondamentali da tenere ben presenti quando si guida una grande collaborazione internazionale. Innanzitutto la parola "collaborazione" indica un metodo di lavoro che richiede concordanza di intenti e volontà di lavorare insieme per raggiungere risultati importanti. Chi guida una collaborazione scientifica ha la responsabilità di mantenere questo spirito e di armonizzare il lavoro di tutti i colleghi tenendo conto delle specificità di ognuno. L'altra responsabilità che ritengo fondamentale, soprattutto in ambito scientifico, è quella di valorizzare e favorire il più possibile lo sviluppo di nuove idee: ciò significa avere il massimo rispetto per tutti i collaboratori e promuovere un clima in cui sia bandita anche la più sottile forma di discriminazione basata su genere, età, appartenenza culturale o etnica ecc.. Credo che la capacità di ascoltare le persone e quella di capire e valorizzare le specificità e le aspettative di ciascuno, soprattutto dei più giovani, siano i requisiti principali per chi guida una grande collaborazione come LHCb. ■



RICERCA

LIGO-VIRGO: UNA NUOVA ERA PER LA SCIENZA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI

Le collaborazioni VIRGO e LIGO hanno annunciato il 27 settembre, nell'ambito del G7 Scienza, a Torino, la prima misura congiunta di onde gravitazionali da parte di tutti e tre i rivelatori. Questo risultato

dimostra il potenziale scientifico della rete globale di rilevatori di onde gravitazionali, che consente una migliore localizzazione della sorgente e la misura delle polarizzazioni delle onde gravitazionali.

Un segnale di onda gravitazionale, prodotta dalla coalescenza di due buchi neri di masse stellari, è stato misurato con inedita precisione dai due rivelatori di LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*), che si trovano negli Stati Uniti, a Livingston, in Louisiana, e a Hanford, nello Stato di Washington, e dal rivelatore VIRGO, che ha sede allo *European Gravitational Observatory* (EGO) a Cascina, vicino a Pisa, fondato dall'INFN e dal *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) francese.

L'osservazione (GW170814) dei tre rilevatori è stata registrata il 14 agosto 2017 alle 10.30.43 UTC. Le onde gravitazionali sono state emesse durante i momenti finali della fusione di due buchi neri, con masse rispettivamente di circa 31 e 25 volte la massa del Sole e distanti circa 1,8 miliardi di anni luce. Il buco nero così prodotto ha una massa circa 53 volte quella del nostro Sole. Ciò significa che, durante la coalescenza, circa 3 masse solari sono state convertite in energia sotto forma di onde gravitazionali. Si tratta della quarta rivelazione di onde gravitazionali prodotte dalla fusione di un sistema binario di buchi neri. Questo nuovo evento è rilevante non solo per l'astrofisica, ma anche perché è il primo segnale di onda gravitazionale registrato dal rivelatore VIRGO, che ha recentemente completato l'aggiornamento della configurazione Advanced VIRGO. L'articolo relativo alla scoperta è stato accettato per la pubblicazione da *Physical Review Letters* (<https://dcc.ligo.org/P170814> e <https://tds.virgo-gw.eu/GW170814>) ed è pubblicato dal 28 settembre su arXiv. ■



COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE INAUGURATO LO EUROPEAN XFEL

È stato inaugurato il 1° settembre, ad Amburgo, lo European XFEL, il super microscopio europeo realizzato anche grazie al contributo italiano coordinato dall'INFN. Si tratta di un laser a elettroni liberi che permetterà di visualizzare la struttura di macromolecole in azione. A differenza delle tradizionali tecniche per determinare la struttura di una macromolecola attraverso i raggi X, lo European XFEL riesce ad analizzare anche macromolecole non cristallizzate. Questo è un vantaggio notevole in quanto, oltre a permettere di visualizzare la struttura di macromolecole difficili da cristallizzare, consente di scattare fotografie di macromolecole in momenti diversi della loro vita. Raccogliendo molti scatti diversi si può ottenere un filmato del movimento della macromolecola in attività, sia questa un enzima, un virus o un catalizzatore.

Il laser, lungo complessivamente 2,1 km, genera raggi X accelerando gli elettroni liberi lungo un tunnel di 1,7 km e curvandone il percorso grazie a una serie di magneti. La radiazione X emessa dagli elettroni è così intensa da distruggere i campioni colpiti. Prima che questo avvenga, tuttavia, è possibile rivelare la struttura atomica della macromolecola analizzata, grazie ai molti fotoni emessi dai campioni quando vengono irradiati. L'INFN ha contribuito in modo essenziale alla realizzazione dell'acceleratore di elettroni sviluppando al laboratorio LASA di Milano alcuni degli elementi chiave, come la sorgente fotoemissiva di elettroni freddi e intensi, i moduli superconduttivi di accelerazione e il sistema di terza armonica per la linearizzazione del fascio.

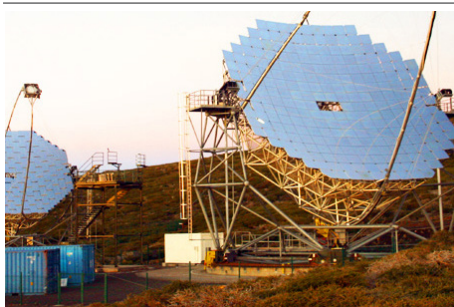
Lo European XFEL è costato complessivamente 1,2 miliardi di euro e l'Italia ha contribuito al progetto con un finanziamento di circa 40 milioni, stanziato dal MIUR e mediato dall'INFN. I primi esperimenti del laser a elettroni liberi europeo sono previsti nell'autunno. ■



EVENTI

10 ANNI DI BOREXINO

Da dieci anni, nelle viscere della montagna del Gran Sasso, l'esperimento Borexino scruta il cielo sopra di noi e il cuore del nostro pianeta, installato ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dell'INFN. Il decimo anniversario dall'inizio del pieno funzionamento di Borexino e della raccolta di dati scientifici, è stato festeggiato ai LNGS e al *Gran Sasso Science Institute* (GSSI) con un evento che ha chiamato a raccolta i più importanti fisici e astrofisici del mondo: tra gli altri, Art McDonald, premio Nobel per la Fisica nel 2015 per i suoi studi sui neutrini, Yoichiro Suzuki, responsabile di Super-Kamiokande, uno dei più rilevanti esperimenti al mondo sui neutrini, Victor Matveev, direttore del JINR di Dubna, il più importante centro russo di ricerca in fisica, Masayuki Nakahata, uno degli autori della misura dell'ultima esplosione di supernova rivelabile sulla Terra, Alexei Smirnov, autore dell'effetto MSW che spiega l'oscillazione del neutrino, Laura Cadonati, viceresponsabile della collaborazione LIGO che assieme ai colleghi della collaborazione VIRGO sono arrivati alla storica scoperta delle onde gravitazionali, Jim Cao, vicepresidente dell'IHEP, l'istituto cinese di fisica delle alte energie, e molti altri. A fare gli onori di casa Gianpaolo Bellini, ideatore di Borexino e suo coordinatore per 22 anni. Con risultati importanti che vanno dalla misura delle proprietà dei neutrini solari in un ampio spettro di energie all'energia del Sole durante la fase di generazione, dalla rivelazione dei geoneutrini alla prima osservazione nel vuoto del fenomeno di oscillazione dei neutrini, Borexino ha avuto e ha tuttora grande risonanza in tutte le maggiori conferenze internazionali, dando contributi fondamentali ai nostri progressi nel campo della fisica, dell'astrofisica e della geofisica. Risultati possibili grazie al successo tecnologico del rivelatore, che detiene il record mondiale di esperimento "più radio-puro" nel suo settore. Borexino, frutto di una collaborazione fra Paesi europei (Italia, Germania, Francia, Polonia), Stati Uniti e Russia, continuerà ancora per alcuni anni la sua presa dati, migliorando la precisione delle misure già fatte e affrontandone sempre di nuove. ■



RICERCA

CASSIOPEIA A NON È IL SUPERACCELERATORE COSMICO CHE SI PENSAVA

Gli scienziati hanno ritenuto per decenni che i raggi cosmici galattici fossero accelerati, fino alle energie più alte osservate, dai resti delle esplosioni delle supernovae. Oggi, i telescopi MAGIC (*Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov*), cui l'Italia partecipa con l'INFN e l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), studiando il residuo della supernova Cassiopeia A che finora era considerato uno dei migliori candidati di acceleratore cosmico hanno scoperto che, in realtà, questo non ha sufficiente energia per accelerare i raggi comici. Questo risultato, pur rivelandoci che le ipotesi su Cassiopeia A non erano corrette, è di grande interesse e d'impatto per la comunità scientifica: eliminando, infatti, uno dei migliori candidati di acceleratore cosmico, indica chiaramente che la ricerca va spinta anche lungo altre direzioni.

I raggi cosmici sono particelle che popolano la nostra galassia con un ampio spettro energetico, fino a energie ben superiori a quelle che si riescono a raggiungere nei laboratori sulla Terra. Cassiopeia A, un famoso resto di supernova, prodotto da una gigantesca esplosione di una stella massiccia avvenuta circa 350 anni fa, sembrava l'oggetto perfetto per essere un PeVatrone, cioè un acceleratore di particelle fino alle energie del PeV ($1 \text{ PeV} = 1.000 \text{ TeV}$). Tuttavia, contrariamente a quanto ci si attendeva, in Cassiopeia A le energie delle particelle non raggiungono che poche decine di TeV.

Lo studio che ha permesso di arrivare a questa conclusione è stato guidato dagli scienziati dell'Istituto per le scienze spaziali (ICE - IEEC-CSIC, CSIC), l'Istituto di fisica d'Alte Energie (IFAE) e l'Istituto di scienze cosmiche dell'Università di Barcellona ICCUB), in Spagna, ed è basato su più di 160 ore di dati ottenuti tra il dicembre 2014 e l'ottobre 2016 dai telescopi MAGIC. ■



OUTREACH

L'ITALIA E I PROGRAMMI INTERNAZIONALI PER LA SCUOLA

Sono numerose le iniziative cui l'INFN collabora rivolte agli studenti delle scuole superiori di tutta Italia, nel corso delle quali i ragazzi hanno l'opportunità di conoscere le ricerche di frontiera della fisica delle particelle confrontandosi con i loro coetanei all'estero.

Si inizia il 14 novembre con una iniziativa inedita: il *World Wide Data Day* (W2D2), organizzato quest'anno per la prima volta dall'*International Particle Physics Outreach Group* (IPPOG), di cui l'INFN è membro. Gli studenti impareranno dai loro insegnanti ad analizzare i veri dati degli esperimenti del CERN e si collegheranno in videoconferenza (in lingua inglese) per mettere a confronto i loro risultati con quelli degli altri gruppi internazionali di studenti che avranno analizzato gli stessi dati. Sarà poi dedicato ai raggi cosmici, il 30 novembre, l'*International Cosmic Day* (ICD), durante il quale gli studenti analizzeranno i dati di un vero e proprio "rivelatore" di raggi cosmici. Lo stesso spirito anima la "storica" Masterclass del CERN, organizzata in collaborazione con IPPOG e a cui si sono ispirate tutte queste iniziative. Organizzate ormai da più di 10 anni dall'INFN, le masterclass si terranno su tutto il territorio nazionale tra il 15 febbraio e il 28 marzo 2018: saranno le diverse sezioni INFN a ospitare gli studenti che dovranno analizzare dati reali degli esperimenti del CERN. Infine, il CERN ha annunciato la nuova edizione del concorso *Beamline for schools*, che offre agli studenti delle scuole superiori di tutto il mondo la possibilità di svolgere un vero e proprio esperimento ideato da loro stessi all'interno del prestigioso laboratorio svizzero. Entro il 31 marzo 2018 le squadre desiderose di partecipare dovranno registrarsi sul sito del CERN. Una selezione solo italiana permetterà inoltre all'INFN di scegliere una squadra che condurrà il proprio esperimento in uno dei laboratori italiani. ■

» FOCUS



MESSAGGERI DI GALASSIE LONTANE

Un risultato pubblicato nel mese di settembre su *Science* dall'Osservatorio Pierre Auger situato in Argentina, nella provincia di Mendoza, risponde a interrogativi che gli scienziati si pongono da mezzo secolo. Da dove arrivano i raggi cosmici di altissima energia? Sono prodotti nella nostra galassia o provengono da galassie lontane? Il recente risultato di Auger indica chiaramente un'origine extragalattica di queste particelle, un primo passo importante per giungere a individuare le sorgenti che li hanno emessi.

I raggi cosmici sono particelle e nuclei atomici che, muovendosi quasi alla velocità della luce, raggiungono la Terra da ogni direzione, a energie diverse. L'esperimento ha ottenuto questo importante risultato osservando particelle cosmiche di altissima energia (dell'ordine delle decine di exaelettronvolt). Raggi cosmici di questa energia non arrivano uniformemente da tutte le direzioni del cielo. La frequenza con cui arrivano, infatti, presenta un eccesso in una zona situata a circa 120° dal centro della nostra galassia, da una direzione lontana, quindi, dal centro galattico.

L'Osservatorio Pierre Auger è il più esteso osservatorio di raggi cosmici mai costruito dall'uomo, una collaborazione internazionale che conta oltre 400 scienziati provenienti da 18 paesi. Deve il suo nome al fisico francese Pierre Auger, scopritore degli sciame di raggi cosmici. Collocato nel cuore della Pampa argentina, l'osservatorio è un sistema ibrido che comprende rivelatori di superficie e telescopi di fluorescenza collocati a ridosso della cordigliera delle Ande a 1400 metri di altezza. I rivelatori di superficie (circa 1600) coprono un'area di 3000 kmq, distanziati tra loro di 1,5 km, e sono in grado di osservare gli sciame dei raggi cosmici quando colpiscono la superficie terrestre. I telescopi di fluorescenza (in totale 27) osservano invece la debole luce prodotta dagli sciame mentre si formano nell'atmosfera (luce Cherenkov). L'attività congiunta dei due sistemi di rivelazione consente di ricavare l'energia e la direzione di provenienza dei raggi cosmici e di risalire a informazioni fondamentali sulla posizione e la tipologia delle sorgenti. Circa il

» FOCUS

15% degli scienziati della collaborazione Auger sono Italiani e la loro partecipazione alle attività di ricerca dell'Osservatorio è possibile grazie al contributo dell'INFN, dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), e delle Università di L'Aquila, Catania, Milano, Federico II di Napoli, Roma Tor Vergata, Salento, Torino, Politecnico di Milano e Gran Sasso Science Institute (GSSI).

L'INFN ha contribuito alla realizzazione stessa dell'Osservatorio e partecipa attivamente al suo programma di aggiornamento. Auger si inserisce in un programma globale di astronomia multimessenger che vede l'INFN impegnato con gli esperimenti Fermi, MAGIC, CTA, KM3NeT, PADME e VIRGO. Con lo sviluppo di nuovi rivelatori e metodi sperimentali l'astronomia multimessenger, impegnata nella rivelazione coordinata di segnali elettromagnetici, raggi cosmici, neutrini di alta energia e onde gravitazionali ci consentirà di osservare l'universo nella sua varietà, integrando in un quadro quanto possibile unitario i risultati ottenuti in fisica delle particelle, astrofisica, fisica teorica e astronomia. ■

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

REDAZIONE

Coordinamento:
Francesca Scianitti

Progetto e contenuti:

Eleonora Cossi
Francesca Mazzotta
Catia Peduto
Francesca Scianitti
Antonella Varaschin

Grafica:

Francesca Cuicchio

CONTATTI

Ufficio Comunicazione INFN
comunicazione@presid.infn.it
+ 39 06 6868162

Immagine di copertina

L'interferometro VIRGO dell'*European Gravitational Observatory* (EGO),
a Cascina (Pisa).