



NEWSLETTER 47

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

INTERVISTA



ALICE, OCCHI PUNTATI SULL'UNIVERSO PRIMORDIALE

Intervista a Federico Antinori, ricercatore INFN, responsabile internazionale dell'esperimento ALICE (A Large Ion Collider Experiment) di LHC, al CERN, p. 2

NEWS

RICERCA

NEUTRINI DAL CERN AI LNGS: OPERA PRESENTA I RISULTATI FINALI SULLE OSCILLAZIONI, p. 6

RICERCA

XENON1T PRESENTA I NUOVI RISULTATI, p. 7

SPAZIO

MARTE: È PARTITA LA MISSIONE INSIGHT, A BORDO C'È ANCHE L'ITALIANO LARRI, p. 8

INFRASTRUTTURE

IN SICILIA PER STUDIARE LE FAGLIE SOTTOMARINE CON LA FIBRA OTTICA, p. 9

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

ITALIA-CINA: A MAGGIO IL BILATERALE TRA INFN E IHEP, p. 10

OUTREACH

GRAN SASSO VIDEOGAME, p. 11

FOCUS



NUMEN: I NUCLEI E LA NATURA FONDAMENTALE DEL NEUTRINO, p. 12

» **INTERVISTA**



ALICE, OCCHI PUNTATI SULL'UNIVERSO PRIMORDIALE

Intervista a Federico Antinori, ricercatore INFN, responsabile internazionale dell'esperimento ALICE (A Large Ion Collider Experiment) di LHC, al CERN.

Si è svolta a metà maggio al Lido di Venezia Quark Matter 2018 - la XXVII Conferenza Internazionale sulle collisioni nucleo-nucleo ultrarelativistiche - che ha riunito centinaia di fisici di tutto il mondo per discutere di nuovi sviluppi nella fisica degli ioni pesanti ad alta energia. Focus della conferenza, la comprensione fondamentale della materia in condizioni estreme di alta temperatura e densità. In queste condizioni, che hanno caratterizzato l'Universo primordiale, la materia appare come un plasma di quark e gluoni, con quark e gluoni non confinati all'interno dei protoni e neutroni del nucleo atomico.

Tra gli scienziati più rappresentativi di questo settore, abbiamo incontrato a Venezia il presidente della conferenza (ruolo che condivide con il fisico Paolo Giubellino), Federico Antinori, ricercatore INFN e responsabile di ALICE (A Large Ion Collider Experiment), una collaborazione internazionale di oltre 1500 tra fisici, ingegneri e tecnici provenienti da 37 Paesi di tutto il mondo e uno dei quattro principali esperimenti del Large Hadron Collider (LHC) del CERN, dedicato in particolare allo studio del plasma di quark e gluoni. Antinori fa parte della collaborazione dalla sua istituzione e ha ricoperto nel corso degli anni numerose posizioni manageriali. Nel 2012, ha assunto l'incarico di coordinatore della fisica di ALICE e durante il suo mandato, l'esperimento ha prodotto molti dei suoi principali risultati. Dal gennaio 2017 è responsabile dell'esperimento, carica che rivestirà fino al dicembre 2019.

L'esperimento ALICE è uno strumento tecnologico unico al mondo, con obiettivi molto diversi dagli altri rivelatori di LHC, ATLAS, CMS e LHCb. Se questi ultimi sono stati progettati per studiare i prodotti delle collisioni tra protoni ad alta energia e, in particolare, per rivelare e

» INTERVISTA

studiare il bosone di Higgs, a quale scopo è stato progettato ALICE?

Sì, ALICE è molto diverso dagli altri esperimenti al Large Hadron Collider: è stato, infatti, ideato con l'obiettivo specifico di utilizzare nuclei pesanti accelerati all'interno di LHC per ricreare in laboratorio uno stato estremo della materia, che chiamiamo plasma di quark e gluoni. Pensiamo che questo stato della materia fosse presente nei primi microsecondi di vita dell'universo.

Le collisioni tra nuclei pesanti, ovvero l'oggetto di studio di ALICE, hanno caratteristiche molto diverse rispetto alle collisioni protone-protone, su cui concentrano l'attenzione gli altri tre grandi esperimenti del CERN. Nelle collisioni tra nuclei pesanti si producono, infatti, molte più particelle e noi della collaborazione ALICE siamo interessati a rivelarne il più alto numero possibile. Ci interessa studiare anche particelle di energie più basse. ATLAS, CMS e LHCb focalizzano invece l'attenzione su particelle di più alta energia e, a differenza di ALICE, escludono quindi dalla rivelazione quelle di energia più bassa.

Che cosa siamo riusciti a comprendere ad oggi sul plasma di quark e gluoni, lo stato della materia che ha caratterizzato il nostro universo nei primissimi istanti, in condizioni di temperatura e densità di energia estreme?

Il plasma di quark e gluoni, anche noto come QGP, è uno stato estremo della materia in cui i quark e i gluoni, che per la materia ordinaria sono sempre intrappolati, noi diciamo confinati, in altre particelle come i protoni o i neutroni, nel QGP sono liberi. Pensiamo quindi che questo stato della materia abbia caratterizzato i primissimi microsecondi di vita dell'universo.

Siamo riusciti a misurare proprietà molto specifiche di questo stato dell'universo primordiale. Sappiamo che il QGP si comporta come un liquido quasi perfetto: lo definiamo un liquido con una viscosità molto bassa, di cui abbiamo misurato l'opacità per le particelle di alta energia che lo attraversano, e sappiamo come risponde come insieme alle fluttuazioni della geometria iniziale. Abbiamo anche raccolto un'intera nuova serie di misurazioni su come le particelle di materia ordinaria, ovvero le particelle di cui siamo fatti e che misuriamo ogni giorno nei laboratori, siano nate a partire dai quark e dai gluoni che formavano questo stato della materia primordiale.

Nel recente passato, ALICE ha fornito preziose informazioni anche sulle similitudini tra materia e antimateria. Che cosa ha osservato esattamente?

Con questi esperimenti, con lo studio delle collisioni dei nuclei pensanti, siamo anche riusciti ad andare oltre lo studio delle proprietà del plasma di quark e gluoni. Possiamo usare il QGP stesso

» INTERVISTA

come fonte di particelle. Nel momento in cui si espande e si raffredda, può generare un intervallo molto grande di masse di particelle che possiamo impiegare, in questo caso, anche per studiare e misurare le proprietà fisiche di stati nucleari esotici, come gli antinuclei e gli anti-ipernuclei. Per esempio, abbiamo misurato le proprietà del deuterone e dell'antideuterone, ovvero del nucleo di deuterio, un isotopo pesante dell'idrogeno che ha nel suo nucleo un protone e un neutrone, e della sua antiparticella. E siamo stati in grado di usare questa sorgente di particelle per misurare le loro masse con un livello di precisione mai raggiunto prima.

Qual è il bilancio di questo primo anno del suo incarico e quali filoni di ricerca si sono aperti per il prossimo futuro dell'esperimento?

Al momento, siamo attivi sia dal punto di vista sperimentale sia per quanto riguarda l'analisi dati. Stiamo ancora raccogliendo nuovi dati e al contempo stiamo analizzando la grande mole di dati che abbiamo già raccolto e allo stesso tempo, ci stiamo preparando per il futuro.

Tra non molto, partirà un intenso periodo di presa dati che andrà avanti per il resto dell'anno, in cui otterremo il più alto numero di dati che abbiamo mai raccolto finora. Per gli anni a venire, stiamo preparando un *upgrade* sostanziale dell'apparato dell'esperimento: stiamo per cambiare tutta la parte interna del rivelatore, quella più vicina al punto d'interazione, dove avvengono le collisioni. Renderemo poi l'esperimento molto più veloce, per quanto riguarda la quantità di dati che può raccogliere, e ci stiamo preparando a quella che chiamiamo l'era dell'alta luminosità, che ci permetterà essenzialmente di raccogliere cento volte più statistica rispetto a quella che riusciamo ad avere ora. Quindi, saremo in grado di scoprire sempre di più sulle proprietà del plasma di quark e gluoni. Si sta aprendo l'era dell'alta precisione nello studio del QGP.

Sono stati presentati risultati inediti nel corso della conferenza?

La maggior parte dei risultati presentati durante la conferenza Quark Matter 2018 sono inediti. Il campo di ricerca delle collisioni nucleari ultrarelativistiche è dedicato principalmente alla comprensione di come la materia si comporta in condizioni di riscaldamento e compressione estreme, che si raggiungono nelle collisioni di nuclei pesanti accelerati alle alte energie. Sappiamo molto di più, rispetto a quanto non sapessimo due settimane fa, sulla produzione a partire dal QGP di tutti i tipi di particelle, dai fotoni ai nuclei, fino agli ipernuclei. Abbiamo fatto dei progressi cruciali per capire come gli effetti del QGP siano legati alla dimensione del sistema studiato. Sono stati presentati grandi passi avanti anche per quanto riguarda la teoria. Possiamo certamente affermare che la conferenza Quark Matter 2018 ha rappresentato un grande salto in avanti per il nostro

» INTERVISTA

campo di ricerca.

Torniamo per un attimo alla sua esperienza personale, che cosa significa guidare una collaborazione di 1500 fisici provenienti da ogni parte del mondo?

Guidare una collaborazione così grande è qualcosa cui sicuramente non ci prepara l'università: non è quello che studiamo durante la laurea in fisica, ed è qualcosa che ci arricchisce molto. Quello che si impara, rivestendo questo ruolo, è quanto sia importante avere all'interno della collaborazione persone diverse, provenienti da culture diverse, con punti di vista diversi e approcci diversi al lavoro. Questa eterogeneità della collaborazione è fondamentale per il successo. Il fatto che tutti noi ci dobbiamo continuamente confrontare con punti di vista diversi dal nostro non permette di rilassarsi un attimo. Devi sempre essere pronto e capace a spiegare il tuo punto di vista e le tue argomentazioni agli altri e a incorporare altri punti di vista rispetto al tuo. Credo che se dovessi indicare l'aspetto che preferisco del nostro lavoro, sarebbe proprio questo: credo che sia un aspetto chiave del successo dell'esperimento.

Che significato attribuisce al fatto che sia stato scelto ancora una volta un italiano alla testa di uno degli esperimenti di LHC, il più potente acceleratore del mondo?

Credo che avere ancora una volta un italiano nominato come responsabile di uno degli esperimenti di LHC sia un chiaro messaggio sulla qualità dell'intera comunità della fisica delle alte energie italiana. E credo che questo sia, in fin dei conti, un riconoscimento da parte dell'intera comunità internazionale del nostro passato, del nostro presente, e delle prospettive che siamo in grado di proporre per il futuro della ricerca in fisica italiana. ■



RICERCA

NEUTRINI DAL CERN AI LNGS: OPERA PRESENTA I RISULTATI FINALI SULLE OSCILLAZIONI

La collaborazione internazionale dell'esperimento OPERA (*Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus*) ha presentato il 22 maggio, nel corso di un seminario ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso LNGS dell'INFN, e in un articolo pubblicato sulla rivista scientifica *Physical Review Letters*, i risultati finali dei suoi 5 anni di osservazione del fascio di neutrini muonici prodotti dal progetto *CERN Neutrinos to Gran Sasso* (CNGS). CNGS è stato realizzato per verificare il fenomeno della trasformazione dei neutrini muonici, misurando con il rivelatore OPERA l'apparizione di neutrini tau, dopo i 2,4 millisecondi di viaggio attraverso i 730 km di crosta terrestre che separano il CERN dai Laboratori sotterranei del Gran Sasso.

Il rivelatore OPERA - 4.000 tonnellate di massa, composto da 150.000 mattoncini costituiti da lastre di piombo ed emulsioni nucleari per fotografare le interazioni - ha osservato il primo evento di oscillazione di un neutrino muonico in uno tau nel 2010, e altri quattro eventi tra il 2012 e il 2015, anno in cui ha annunciato la scoperta dell'apparizione del neutrino tau, avendo raggiunto per la prima volta la significatività statistica necessaria.

Ora, grazie a una nuova strategia di analisi applicata all'intero campione di dati, raccolto tra il 2008 e il 2012, periodo in cui OPERA è stato operativo ai Laboratori del Gran Sasso, sono stati identificati in totale 10 eventi candidati, che hanno ulteriormente migliorato il livello di significatività statistica della scoperta: un risultato che dimostra in modo diretto e inequivocabile che i neutrini muonici oscillano in neutrini tau.

La collaborazione OPERA ha reso pubblici i propri dati attraverso il CERN Open Data Portal. In questo modo, anche i ricercatori che non fanno parte della collaborazione OPERA potranno utilizzarli per condurre nuove ricerche. ■



RICERCA

XENON1T PRESENTA I NUOVI RISULTATI

L'esperimento XENON1T, per la ricerca diretta di materia oscura ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, ha presentato il 28 maggio i suoi nuovi risultati. I dati osservati dall'esperimento sono in accordo con le previsioni del piccolo fondo atteso, vale a dire quegli eventi simili a un'interazione di WIMP - la classe di candidati di particelle di materia oscura che XENON1T ricerca - ma dovuti invece a particelle di natura nota. Il risultato permette così di fissare per le WIMP un nuovo limite più stringente alle possibili interazioni con la materia ordinaria. Il risultato si basa su una quantità di dati pari a 1 tonnellata per anno, un'esposizione mai raggiunta in precedenza: XENON1T ha raggiunto così una sensibilità circa quattro ordini di grandezza migliore di quella ottenuta con XENON10, il primo rivelatore del progetto XENON, in operazione ai Laboratori del Gran Sasso dal 2005. Aumentando la massa del bersaglio dai 5 kg iniziali fino agli attuali 1300 kg, e contemporaneamente diminuendo il fondo di un fattore 5000, la collaborazione XENON si conferma alla frontiera della ricerca diretta di materia oscura. ■



SPAZIO

MARTE: È PARTITA LA MISSIONE INSIGHT, A BORDO C'È ANCHE L'ITALIANO LARRI

Il 5 maggio, alle 04:05 ora della California (13:05 in Italia) dalla base americana di Vandenberg, è stato lanciato con successo il lander marziano InSight (*Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport*), dando così inizio alla missione della NASA diretta verso Marte. A bordo del lander, anche LaRRI (*Laser Retro-Reflector for InSight*), un microriflettore laser sviluppato dall'INFN con il supporto dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

InSight è una missione che ha il compito di esplorare le profondità del Pianeta Rosso per capire come si sono formati i pianeti rocciosi, come la Terra. Gli strumenti a bordo includono un sismometro per rilevare i terremoti marziani, una sonda per monitorare il flusso di calore proveniente dall'interno del pianeta e, appunto, il microriflettore LaRRI, uno strumento disegnato e costruito dal gruppo di ricerca SCF_Lab dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, in attività congiunta con ASI-Matera, e dedicato a misure di geodesia.

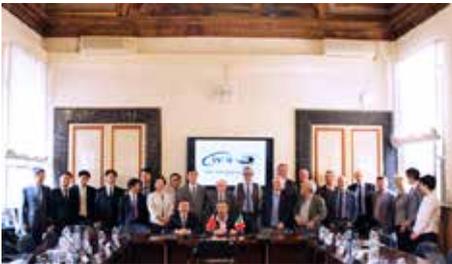
Grazie a nuovi satelliti orbitanti intorno a Marte, i microriflettori laser italiani forniranno la posizione accurata dei lander e dei rover durante la loro esplorazione, una rete di punti di riferimento di geodesia marziana, un test della relatività generale di Einstein complementare a quello lunare fatto coi riflettori Apollo (misurati da ASI-Matera) e una definizione decisamente migliore del Meridiano 0 di Marte (una sorta di "Mars Greenwich"). ■



INFRASTRUTTURE IN SICILIA PER STUDIARE LE FAGLIE SOTTOMARINE CON LA FIBRA OTTICA

Sfruttare le fibre ottiche per individuare piccoli movimenti causati da faglie sul fondale del mare a largo della Sicilia, usando l'infrastruttura sottomarina dei Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN, attualmente in fase di completamento (il progetto Idmar realizzato grazie a fondi della Regione Sicilia). È questa l'idea dello scienziato francese Marc-André Gutscher (CNRS-Università di Brest) su cui l'European Research Council (ERC) ha deciso di investire assegnando al progetto FOCUS un *Advanced Grant*, per un totale di 3,5 milioni di euro in 5 anni. FOCUS validerà una nuova tecnologia testando la tecnica della riflettometria laser, comunemente usata per il monitoraggio di strutture ingegneristiche, per rilevare piccoli movimenti sismici sulla faglia sottomarina del monte Alfeo, a Est delle coste di Catania, in collaborazione con l'INFN e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Il progetto è una testimonianza di come gli investimenti in infrastrutture inizialmente pensate per obiettivi di ricerca fondamentale possano poi offrire opportunità per studi multidisciplinari.

FOCUS utilizzerà il cavo elettro-ottico sottomarino, lungo 28 km che attraversa la faglia del monte Alfeo, recentemente mappata. Una volta testata e calibrata in Sicilia, l'obiettivo sarà estendere la tecnica di monitoraggio delle faglie ad altre reti di cavi in fibra ottica esistenti, estendendo così ulteriormente il numero degli utenti scientifici internazionali che afferiscono alle infrastrutture sottomarine dell'INFN in Sicilia. ■



COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

ITALIA-CINA: A MAGGIO IL BILATERALE TRA INFN E IHEP

L'incontro bilaterale tra l'INFN e il suo principale partner scientifico e tecnologico in Cina, l'*Institute of High Energy Physics (IHEP)*, che si è svolto dal 9 al 10 maggio a Roma, nella sede della Presidenza dell'INFN, è stata l'occasione per mettere in risalto e rinforzare la proficua collaborazione tra l'Italia e la Cina nell'ambito della ricerca scientifica in fisica delle particelle e non solo, e guardare insieme alle nuove frontiere della fisica.

L'incontro è stato dedicato a una discussione sui progetti congiunti. In particolare, due grandi esperimenti condotti dalla Cina: JUNO (*Jiangmen Underground Neutrino Observatory*) e HERD (*High Energy Cosmic Radiation Detection*). Il primo prevede la costruzione di un gigantesco rivelatore sotterraneo di neutrini, che sfrutterà una tecnologia analoga a quella utilizzata dall'esperimento Borexino ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN; il secondo prevede la realizzazione di un nuovo potente telescopio spaziale per rivelare particelle di materia oscura, studiare la composizione dei raggi cosmici e osservare i raggi gamma di alta energia dalla futura stazione spaziale cinese. Si è poi discusso di acceleratori, con l'esperimento BESIII all'acceleratore BEPCII e con il progetto CEPC per un futuro collisore elettroni-positroni, e si è inoltre parlato di fisica spaziale: oltre a HERD, il progetto DAMPE (*DARK Matter Particle Explorer*), in orbita dal 2015, per la ricerca di materia oscura. Entrambi i progetti sono stati sviluppati in collaborazione con ASI. L'incontro ha offerto inoltre l'opportunità di rinnovare un importante accordo tra INFN e IHEP per l'alta formazione, grazie al quale l'IHEP supporta progetti congiunti di comune interesse sviluppati nell'ambito di dottorati di ricerca: accordo che, oltre a contribuire alla formazione dei futuri ricercatori, favorisce la mobilità tra i due Paesi, consentendo a giovani ricercatori cinesi di venire in Italia per fare esperienza nei Laboratori dell'INFN. ■



OUTREACH

GRAN SASSO VIDEOGAME

È stato presentato ai visitatori dell'Open Day dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, che si è svolto il 27 maggio, il primo videogioco ambientato nei laboratori sotterranei di fisica delle astroparticelle più grandi del mondo, dove si realizzano ricerche di punta in fisica. Frutto della collaborazione tra ricercatori, comunicatori e sviluppatori di videogiochi, Gran Sasso videogame è un prodotto multiplatforma accessibile da computer, tablet o smartphone: uno strumento di orientamento attivo nato per avvicinare gli studenti alle frontiere della fisica e alle possibilità offerte dalle carriere scientifiche, e rivolto ai ragazzi tra i 14 e i 19 anni e ai loro insegnanti.

Frutto del progetto PILA (*Physics In Ludic Adventure*), finanziato dal MIUR, il progetto nasce dalla collaborazione tra i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, l'agenzia di comunicazione scientifica formicablu srl, la casa di produzione IV Productions e con il supporto di INDIRE (Istituto Nazionale Documentazione Innovazione Ricerca Educativa). Il videogioco sarà distribuito gratuitamente e, prima della sua finalizzazione, sarà testato nelle scuole con studenti e insegnanti. In questo modo le scuole saranno coinvolte in un percorso di valutazione che porterà all'ottimizzazione di materiali utili a trattare la fisica in classe. Un percorso che tiene conto della necessità, nella realizzazione di nuovi percorsi formativi e di valorizzazione del capitale umano, della necessità di mettere a punto strumenti che utilizzino il linguaggio dei millennial. In questo contesto, Gran Sasso Videogame è stato selezionato tra i 100 progetti del premio Pubblica Amministrazione (PA) sostenibile e premiato come miglior progetto per la categoria "Capitale Umano ed educazione". ■

» **FOCUS**



**NUMEN: I NUCLEI E
LA NATURA FONDAMENTALE
DEL NEUTRINO**

Sono stati presentati a maggio sull'*European Physical Journal, Hadrons and Nuclei*, i primi risultati del progetto NUMEN (*NUclear Matrix Elements of Neutrinoless double beta decay*), insieme a una panoramica aggiornata e dettagliata delle attività R&D relative al progetto e degli sviluppi teorici connessi.

Installato ai Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN, a Catania, NUMEN aggrega una collaborazione internazionale che include per l'Italia anche le sezioni INFN di Catania, Torino e Genova. Il progetto è dedicato allo studio delle caratteristiche nucleari del fenomeno del doppio decadimento beta senza neutrini, con importanti implicazioni per la fisica del neutrino e la fisica astroparticellare, per lo studio dei neutrini cosmici e della materia oscura.

I neutrini, particelle prive di carica e con massa piccolissima, interagiscono pochissimo con la materia, ma giocano un ruolo centrale nel funzionamento delle stelle, nell'esplosione delle supernovae e nella formazione degli elementi durante il Big Bang. Oggetto di studio da parte di diversi gruppi sperimentali, una proprietà fondamentale dei neutrini è al momento ancora sconosciuta: se siano particelle di Majorana, identiche alle loro antiparticelle o siano invece particelle di Dirac, distinguibili dalla loro controparte di antimateria. Nel caso neutrini e antineutrini fossero identici, dovremmo poter osservare il fenomeno del decadimento doppio beta senza neutrini: un processo mai osservato sperimentalmente, che, sebbene proibito dal Modello Standard delle particelle elementari, è previsto da molte teorie accreditate. Nel decadimento doppio beta senza neutrini, due neutroni all'interno di un nucleo decadono simultaneamente in due protoni e due elettroni, senza emissione di neutrini. La ricerca del decadimento doppio beta senza emissione di neutrini implica però una strenua battaglia contro altri eventi naturali molto più comuni, i "processi di fondo", che simulano il segnale ricercato,

» FOCUS

inquinandolo e rendendone difficile la rivelazione.

Per questo, la tecnica proposta da NUMEN ai Laboratori del Sud propone uno studio indiretto del fenomeno attraverso l'utilizzo di opportune reazioni nucleari di doppio scambio di carica (DCE), realizzate in laboratorio, per la determinazione delle probabilità di transizione nucleare che caratterizzano il doppio decadimento beta senza neutrini. Nonostante i due processi, il decadimento doppio beta senza neutrini e le reazioni DCE, siano innescati da forze diverse (rispettivamente, la forza debole e la forza nucleare forte) si ritiene che i due fenomeni presentino importanti analogie. In particolare, l'aspetto cruciale è la coincidenza fra gli stati quantistici iniziali e finali dei nuclei coinvolti nelle reazioni di doppio scambio di carica e nel doppio decadimento beta, una caratteristica che consente di ottenere informazioni quantitative sul processo del doppio decadimento beta senza neutrini. I principali strumenti sperimentali per questo progetto sono il Ciclotrone Superconduttore K800, per l'accelerazione dei fasci di ioni pesanti ad alta risoluzione e bassa emittanza, e il rivelatore MAGNEX, lo spettrometro magnetico a grande accettazione angolare e in impulso, per la rivelazione dei prodotti della reazione.

I primi risultati sperimentali ottenuti da NUMEN per le reazioni ($^{18}\text{O},^{18}\text{Ne}$) e ($^{20}\text{Ne},^{20}\text{O}$) su bersagli di ^{40}Ca , ^{76}Ge , ^{116}Cd e ^{130}Te a energie comprese tra 270 e 300 MeV, forniscono un'indicazione incoraggiante sulla capacità della tecnica proposta di accedere a informazioni quantitative rilevanti.

Sebbene la tecnica consenta buoni risultati in termini di risoluzione e sensibilità, NUMEN prevede per il prossimo futuro un significativo miglioramento delle performance complessive, grazie all'upgrade già programmato (2019-2021) delle infrastrutture dei Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN. ■

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

COORDINAMENTO:

Francesca Scianitti

REDAZIONE

Eleonora Cossi

Francesca Mazzotta

Francesca Scianitti

Antonella Varaschin

GRAFICA:

Francesca Cuicchio

CONTATTI

[Ufficio Comunicazione INFN](#)

comunicazione@presid.infn.it

+ 39 06 6868162

Immagine di copertina

Laboratori Nazionali del Sud - INFN © INFN
