

## A1 Titolo dell'attività di ricerca

La tecnologia delle emulsioni nucleari e la microscopia ottica automatizzata per la fisica delle oscillazioni di neutrino nell'esperimento OPERA, per la fisica del neutrino e la ricerca di materia oscura nell'esperimento SHiP, per la ricerca direzionale di materia oscura nell'esperimento NEWS e per applicazioni alla fisica medica nell'esperimento FOOT

## A2 Responsabile

*(aggiungere eventuale referente del Dipartimento se il Responsabile non è un afferente ad esso)*

Responsabile: Giovanni de Lellis

## A3 Personale Dipartimento di Fisica (Professori e Ricercatori)

Prof. Associati: Giovanni de Lellis

Ricercatori universitari: Adele Lauria, Maria Cristina Montesi

## A4 Collaborazioni con altri enti

INFN, CERN e molteplici Università italiane ed estere tra cui Imperial College, Nagoya University, University of Zurich, MISiS National University of Science and Technology in Moscow

## A5 Personale strutturato ricercatore o tecnologo altri enti convenzionati

Salvatore Buontempo (dirigente di ricerca INFN)

Valeri Tioukov (ricercatore INFN)

Riccardo de Asmundis (primo ricercatore INFN)

Sabino Meola (prof. Associato Università Marconi)

## A6 Altro personale di ricerca (Assegnisti, Borsisti)

Assegnisti: Antonia di Crescenzo, Andrey Alexandrov (INFN)

## A7 Dottorandi di Ricerca

Annarita Buonauro, Giuliana Galati, Elena Voevodina

## B1 Breve descrizione della linea di ricerca

*(max 1000 caratteri)*

Il gruppo di ricerca ha ruoli leader in tutti i filoni nei quali si articola l'attività di ricerca.

1. Nell'esperimento OPERA si studia l'oscillazione del neutrino mu in neutrino tau. L'esperimento è in fase di analisi dei dati.
2. Nell'esperimento NEWS si intende rivelare la materia oscura con un approccio innovativo che ne misura la direzione di provenienza ed è pertanto in grado di stabilire la sua natura galattica. Si utilizzano emulsioni con grani di AgBr nanometrici e si sviluppano sistemi ottici in grado di rivelare rinculi nucleari nanometrici indotti dalle WIMP. Questa tecnica è l'unica al momento a promettere di poter estendere la sensibilità degli esperimenti oltre il cosiddetto "neutrino floor", limite oltre il quale la diffusione dei neutrini domina per le altre tecniche.
3. Nell'esperimento SHiP si intende studiare le proprietà dei neutrini e ricercare particelle molto debolmente accoppiate con la materia che potrebbero spiegare

fenomeni ancora non compresi all'interno del modello Standard. La tecnica delle emulsioni nucleari è utilizzata per l'apparato che studia i neutrini e ricerca la materia oscura.

4. Nell'esperimento FOOT si studia con la tecnica delle emulsioni nucleari la frammentazione degli ioni carbonio e dei protoni utilizzati in adroterapia oncologica al fine di ottimizzare i trattamenti clinici.

## **B2 Descrizione attività svolta nel triennio 2014-2016**

*(max 2000 caratteri)*

OPERA: GDL è lo Spokesman dell'esperimento dal 2012 ed è stato eletto per un secondo mandato triennale nel 2015. L'attività di ricerca è incentrata sull'analisi dei dati dell'esperimento. Il laboratorio di Napoli ha localizzato e studiato il numero più elevato d'interazioni di neutrino in Europa. Si sono studiate le efficienze di rivelazione del neutrino tau nei diversi canali di decadimento del leptone tau e i processi di fondo. Nel 2015 è stata dimostrata l'apparizione del neutrino tau con alta significanza statistica. Tale risultato è stato menzionato dal comitato del premio Nobel 2015 conferito per le oscillazioni di neutrino.

SHIP. GDL ha proposto l'esperimento insieme a colleghi di Imperial College, CERN, INFN Cagliari, Università di Zurigo ed EPFL di Losanna. In particolare GDL ha proposto il rivelatore a neutrini, uno dei due apparati previsti nell'esperimento. Il gruppo di Napoli ha progettato l'apparato sviluppando una simulazione completa della sua risposta. Nel 2015 è stato preparato il Technical Proposal approvato nel 2016 dal Comitato Scientifico del CERN che ha richiesto un Comprehensive Design Report da presentare entro il 2018. Nel 2015, abbiamo iniziato un'attività sperimentale di R&D sul rivelatore a emulsioni per lo sviluppo di una camera di dimensioni centimetriche per la misura della quantità di moto fino a energie di 10 GeV/c e per poter conferire una risoluzione temporale alle emulsioni. Nel 2016 GDL ha presentato insieme a 3 colleghi un progetto internazionale che è stato approvato recentemente con un finanziamento dal Ministero della Ricerca russa di 9 milioni di euro in 3 anni.

NEWS. Il gruppo di Napoli ha condotto un R&D finalizzato alla misura di tracce nanometriche come quelle prodotte da un rinculo nucleare indotto da materia oscura sotto forma di WIMP. Tale R&D ha portato alla sottomissione (dopo approvazione dell'Ufficio di Trasferimento Tecnologico INFN) di un brevetto all'ufficio brevetti nel dicembre 2016 di cui sono autori AA, GDL e VT insieme a un collega del Gran Sasso: si tratta di una tecnica di microscopia ottica che ha superato il limite intrinseco della diffrazione, consentendo di raggiungere risoluzioni di 10 nm in 3D con l'utilizzo di luce polarizzata. Nel 2015 è stata scritta una Lettera di Intenti dell'esperimento NEWS inviata a ottobre al Comitato Scientifico del Gran Sasso. In tale documento sono confluiti gli studi fatti a Napoli, incluse le dettagliate simulazioni dell'apparato e della sua risposta. GDL è stato eletto nel 2015 primo Spokesman della Collaborazione che consta di 70 fisici in 5 Paesi (Corea del Sud, Italia, Giappone, Russia e Turchia) con un mandato triennale.

## FOOT

L'esperienza del gruppo acquisita nell'ambito della microspia veloce è stata proficuamente utilizzata nella misura della frammentazione degli ioni carbonio alle energie utilizzate in adroterapia con la progettazione di un rivelatore di protoni emessi a grande angolo (da 30 a 90 gradi) nella frammentazione del carbonio. I positivi risultati ottenuti e pubblicati in questo campo negli anni scorsi ci hanno fatto essere nel 2016 tra i proponenti dell'esperimento FOOT finanziato dalla CSN3 dell'INFN a partire dal 2017.

## **B3 Descrizione attività programmata nel triennio 2017-2019**

*(max 2000 caratteri)*

**OPERA:** è in corso l'analisi conclusiva dei dati sotto la guida di GDL. Per la prima volta i parametri delle oscillazioni sono stimati con un esperimento di apparizione di neutrini tau e si stanno fissando limiti stringenti sull'esistenza di neutrini sterili nel canale di apparizione sia dei neutrini tau sia di quelli elettronici. Ci si aspetta le analisi conclusive e le corrispondenti pubblicazioni almeno fino a tutto il 2018. OPERA è inserito nel programma di divulgazione scientifica del CERN denominato "Open data" che prevede la pubblicazione di un sottocampione dei dati e impegnerà il gruppo di Napoli nel 2017.

**SHIP:** L'approvazione del Technical Proposal da parte del Comitato Scientifico SPSC al CERN ha aperto una nuova fase per il progetto che durerà fino a fine 2018 quando è prevista la presentazione del Comprehensive Design Report dell'esperimento. Per la stesura di tale documento, si dovranno definire tutti i dettagli della progettazione e realizzazione degli apparati richiesti. In particolare, il gruppo di Napoli ha la responsabilità del rivelatore di neutrini e di tutti gli apparati costituenti. Si studieranno le performance degli apparati con dettagliate simulazioni e si condurranno misure su fasci di particelle per la verifica sperimentale. Nel 2019 il progetto sarà valutato da "European Strategy Panel" della Fisica delle alte energie. L'attività si gioverà del finanziamento ricevuto dal Ministero della Ricerca Russo disponibile da fine 2017 per tre anni.

**NEWS:** l'INFN e altre funding agencies hanno finanziato per il 2016 e 2017 gli studi necessari a verificare che la tecnica proposta possa essere utilizzata per la costruzione del primo apparato per la ricerca direzionale di materia oscura. Dati i risultati ottenuti molto promettenti e alcuni rallentamenti dovuti al laboratorio ospitante, è prevista un'estensione del finanziamento al 2018 quando sono attesi i risultati di questa prima fase di sperimentazione che confluiranno in un Technical Design Report. La sperimentazione sarà condotta su un apparato di massa di poche decine di grammi sul quale si dimostrerà la scalabilità della tecnica a masse dell'ordine di dieci kg e oltre. Il rivelatore di queste masse sarà realizzato nel 2019.

## FOOT

A fine 2016 è iniziata la progettazione dell'apparato con simulazioni Monte Carlo e con alcune misure di test. Nel 2017 il gruppo di Napoli effettuerà misure di identificazione della carica di frammenti dal protone al litio con camere a emulsioni presso i Laboratori INFN del Sud a Catania. Dal 2018 l'esperimento FOOT prenderà

dati con il rivelatore a emulsioni di Napoli presso il GSI di Darmstadt e presso Heidelberg. La presa dati è prevista nel 2018 e 2019 e seguirà l'analisi dei dati.

### C1 Pubblicazioni scientifiche nel triennio 2014-2016

(indicare il numero complessivo nel triennio e elencare le più significative (max 10))

#### Numero totale: 12

1. OPERA Collaboration (N. Agafonova et al.), *Discovery of  $\tau$  neutrino appearance in the CNGS Neutrino Beam with the OPERA Experiment*, Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 121802.
2. J. Battat et al., *Readout technologies for directional WIMP Dark Matter detection*, Physics Reports 662 (2016) 1-46.
3. OPERA Collaboration (N. Agafonova et al.), *Procedure for short-lived particle detection in the OPERA experiment and its application to charm decay* Eur. Phys. J. C74 (2014) 8, 2986.
4. OPERA Collaboration (N. Agafonova et al.), *Measurement of TeV atmospheric muon charge ratio with the full OPERA data* Eur. Phys. J C74 (2014) 7, 2933.
5. OPERA Collaboration (N. Agafonova et al.), *Evidence  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  appearance in the CNGS neutrino beam with the OPERA experiment* Phys. Rev. D89 (2014) 5, 051102.
6. OPERA Collaboration (N. Agafonova et al.), *Observation of tau neutrino appearance in the CNGS beam with the OPERA experiment*, Prog. Theor. Exp. Phys. 10 (2014) 101C01.
7. A. Aleksandrov et al., *Improving the detection efficiency in nuclear emulsion trackers*, NIM-A 776 (2015) 45.
8. OPERA Collaboration (N. Agafonova et al.), *Limits on muon-neutrino to tau-neutrino oscillations induced by a sterile neutrino state obtained by OPERA at the CNGS beam*, JHEP 1506 (2015) 069.
9. A. Aleksandrov et al., *Measurement of Large Angle Fragments Induced by 400 MeV/nucleon Carbon Ion Beams*, Meas. Sci. Technol. 26 (2015) 094001.
10. A. Alexandrov et al., *A new generation scanning system for the high-speed analysis of nuclear emulsions*, JINST 11 (2016) P06002.

### C2 Presentazioni a Conferenze internazionali e nazionali

(solo se lo speaker è tra il personale elencato nel punto A3)

#### Internazionali

1. G. De Lellis, *Search for Hidden Particles (SHiP): a new experiment proposal*, 5th Workshop on Theory, Phenomenology and Experiments in Flavour Physics, Capri, 23-25 May 2014, Nucl. Part. Phys. Proc. 263-264 (2015) 71-76.
2. G. De Lellis, *Search for Hidden Particles: a new experiment proposal*, Neutrino Oscillation Workshop (NOW 2014): Otranto, Italy, September 7-14, 2014, Nucl. Part. Phys. Proc. 265-266 (2015) 165-170.
3. G. De Lellis, *SHiP: a new facility with a dedicated detector for neutrino physics*, HEP 2015, Vienna, 22-29 July 2015, PoS EPS-HEP2015 (2015) 037.
4. G. De Lellis, *The SHiP Facility at CERN, Flavour changing and conserving processes FCCP2015*, Capri, 10-12 September 2015, EPJ Web Conf. 118 (2016) 01009.

5. G. De Lellis, The SHiP project at CERN, 13th Workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detectors (RPC2016), JINST 11 (2016) no.07, C07003.
  6. G. De Lellis, The SHiP experiment at CERN, in the Sixth Workshop on Theory, Phenomenology and Experiments in Flavour Physics, Anacapri (Italy), 11-13 June 2016, in pubblicazione nei proceedings.
  7. G. De Lellis, Physics program with the SHiP experiment, Neutrino Oscillation Workshop (NOW 2016): Otranto, Italy, September 4-11, 2016, in pubblicazione nei proceedings.
  8. G. De Lellis, The OPERA experiment and its contribution to neutrino physics, The 3<sup>rd</sup> International Symposium on “Quest for the origin of Particles and the Universe”, Nagoya, 5-7 January 2017, in pubblicazione nei proceedings.
  9. A. Lauria, *Nuclear emulsion for medical applications*, Workshop on Nuclear Emulsion and its future, 14-18 October 2013, Predeal, Romania
  10. A. Lauria, *Emulsion Cloud Chamber technology to measure the fragmentation of carbon ion beams used in hadron therapy*, 20th IMEKO TC4 Symposium on Measurements of Electrical Quantities, 20-22 September 2014, Benevento.
  11. M.C. Montesi, *Emulsion Cloud Chamber: Measurements of 12-C Ions Beam Fragmentation at Large Angle*, 2016 IEEE NSS-MIC-RTSD (Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop), 29 Oct - 5 Nov 2016, Strasbourg, France.
- Nazionali**
12. G. De Lellis, Risultati dell’esperimento OPERA, Relazione su invito presso il Congresso Nazionale della SIF, Roma, Settembre 2015.

### C3 Presentazioni di brevetti internazionali e nazionali

A. Alexandrov, G. De Lellis, N. D’Ambrosio e V. Tioukov, Metodo e Apparato per rivelare particelle di dimensioni subdiffrattive, N. 102016000132813, inviato all’Ufficio brevetti dopo approvazione dell’Ufficio di Trasferimento Tecnologico INFN, dicembre 2016

### D1 Progetti di ricerca attivi

(Progetti di Enti di ricerca, Progetti Europei, Progetti MIUR, PON, POR, ...)

OPERA: Oscillation Project with an Emulsion trackeR Apparatus, ai Laboratori INFN del Gran Sasso

NEWS: Nuclear Emulsions for WIMP Search, ai Laboratori INFN del Gran Sasso

SHiP: Search for Hidden Particles al CERN

FOOT: FragmentatiOn Of Target, GSI, Darmstadt e Heidelberg.