

## Curriculum vitae

**Rosa ALBA**

### FORMAZIONE

Laurea in Fisica indirizzo Nucleare presso l'Università degli Studi di Catania  
Corso di Specializzazione in Fisica Sanitaria presso l'Università di Bologna

### POSIZIONE ATTUALE

Dirigente di Ricerca presso Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) - Laboratori Nazionali del Sud

### ATTIVITA' di RICERCA

- ◆ Campo di ricerca: fisica nucleare sperimentale con fasci di ioni pesanti
- ◆ Interessi di ricerca: struttura nucleare, dinamica delle reazioni e astrofisica nucleare
- ◆ Principali argomenti studiati: transizione da processi quasi-elastici a processi dissipativi, produzione di fotoni di alta energia in reazioni dissipative e emissione di frammenti complessi a bassa (pochi MeV/nucleone) energia; emissione di pre-equilibrio, risonanza gigante di dipolo, limiti di stabilità dei nuclei ad alta temperatura, multiframmentazione nucleare e equazione di stato della materia nucleare alle energie intermedie (alcune decine di MeV/nucleone); big bang nucleosynthesis con fasci radioattivi
- ◆ Strumentazione sviluppata o caratterizzata: un filtro di molteplicità di NaI, un dispositivo anti-Compton per rivelatori al germanio di bassa efficienza, un array di 6 rivelatori al germanio di alta efficienza, un sistema di rivelazione ad alta efficienza e granularità per fotoni e particelle cariche leggere (MEDEA), un solenoide superconduttore con il suo rivelatore di piano focale (SOLE + MACISTE), un rivelatore per neutroni a termalizzazione ad alta efficienza (POLICUBE)
- ◆ Responsabilità scientifiche: spokesperson e responsabile nazionale di diversi esperimenti
- ◆ Contributo allo sviluppo di facilities presso i LNS: una facility per la produzione in-flight di un fascio secondario di  $^8\text{Li}$ , una linea di fascio ottimizzata per studi sulla produzione di neutroni
- ◆ Collaborazioni: rivelatore FAZIA, studio delle proprietà di cristalli di  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ , emissione di dipolo dinamico, misure di rese neutroniche da targhetta spessa nell'ambito del progetto strategico INFN-E (ADS)

### COMPETENZE

Esperienza in sistemi di rivelazione, logica dei sistemi di trigger, analisi dei dati  
Esperto qualificato per la radioprotezione

## **ATTIVITA' DI VALUTAZIONE**

Ha valutato progetti di ricerca per le Università di Padova e Milano

Ha valutato esperimenti sia come componente della Commissione Scientifica III che come referee

Come componente dello Scientific Steering Committee del progetto SPES ne ha valutato le scelte e la regolarità dell'avanzamento

E' stata componente dei Gruppi di Lavoro per la Valutazione dell'INFN

E' stata componente di commissioni di concorso e revisore di articoli

## **ALTRO**

E' stata componente del Comitato per le Pari Opportunità dell'INFN

E' stata coordinatore di Gruppo III

E' stata componente di diversi Scientific Advisory Committees di conferenze internazionali

Ha fatto parte dello Scientific Steering Committee del progetto ENSAR2 (Horizon2020)

E' attualmente componente del Comitato Scientifico e Tecnico dell'EURATOM

E' autore di 175 pubblicazioni

Ha presentato i risultati delle sue ricerche a numerose conferenze nazionali ed internazionali

E' stata relatrice di tesi di laurea ed ha svolto cicli di lezioni a livello post-universitario

## **ELENCO DELLE 10 PUBBLICAZIONI PIU' SIGNIFICATIVE DEGLI ULTIMI 5 ANNI**

1. Evidence of dynamical dipole excitation in the fusion-evaporation of the Ca-40+Sn-152 heavy system - Phys.Rev.C93(2016)44619
2. Probing clustering in excited alpha-conjugate nuclei - Phys.Lett.B755(2016)475
3. Low-temperature technique of thin silicon ion implanted epitaxial detectors - EPJA51(2015)15
4. Onset of quenching of the giant dipole resonance at high excitation energies - Phys.Rev.C90(2014)54603
5. An intrinsically safe facility for forefront research and training on nuclear technologies - Neutron yield from Be - EPJ PLUS129(2014)68
6. The FAZIA project in Europe: R&D phase - EPJA50(2014)47
7. N and Z odd-even staggering in Kr plus Sn collisions at Fermi energies - Phys.Rev.C88(2013)64607
8. Measurement of neutron yield by 62 MeV proton beam on a thick beryllium target - NIMA723(2013)8
9. Isospin transport in Kr-84+Sn-112,Sn-124 collisions at Fermi energies - Phys.Rev.C87(2013)54607
10. Particle identification using the Delta E-E technique and pulse shape discrimination with the silicon detectors of the FAZIA project - NIMA664(2012)251

# **Curriculum Vitae et Studiorum**

## **Salvatore Tudisco**

(redatto ai sensi degli Art. 46 e 47 del D.P.R. 28.12.2000, n. 445)

### **1. Dati personali**

### **2. Cicli di studio e titoli Accademici**

- **Diploma di Maturità Tecnica**, indirizzo Elettronico-Informatico, conseguito presso l'Istituto Archimede di Catania nel Luglio 1989
- **Laurea in Fisica**, indirizzo Applicativo orientamento Nucleare, conseguita presso l'Università degli Studi di Catania, il 12 Dicembre 1994 con voti 110/110 e lode e dissertazione intitolata: "Il multirivelatore TRASMA" relatori: Prof. G.Pappalardo, Dr. G.Cardella.
- **Dottorato di Ricerca in Fisica**, titolo conseguito con lode, presso l'Università degli Studi di Catania, il 3 Marzo 2000, con dissertazione intitolata: "Studio della radiazione gamma nelle collisioni tra ioni pesanti alle energie intermedie: emissione di pre-equilibrio ed equilibrio" relatore: Prof. G.Pappalardo.
- **Culture della materia**: Fisica Sperimentale e Fisica Nucleare
- **Prof. Incaricato**, Università degli Studi di Catania dal 2004 al 2009 e dal 2012 a oggi.

### **3. Corsi di specializzazione e stage post-laurea**

- **VIII Seminario Nazionale di Fisica Nucleare e Subnucleare**; Otranto, Italy Settembre 1995
- **VI serie delle Giornate di Studio sui Rivelatori**; Torino, Italy, Febbraio 1996
- **4<sup>th</sup> Course: Exotic Nuclei**; Erice, Italy, Maggio 1997
- **X Seminario Nazionale di Fisica Nucleare e Subnucleare**; Otranto, Italy Settembre 1997
- **VIII serie delle Giornate di Studio sui Rivelatori**; Torino, Italy, Febbraio 1998
- **Euroschool on Exotic Beam**; Leuven, Belgium, Settembre 1998
- **IV corso specialistico di C++ e analisi e disegno nella programmazione a oggetti**; CNAF-INFN, Bologna, Italy, Ottobre 1998
- **European Summer School on Experimental Nuclear Astrophysics**; S.Tecla-Acireale, Italy, Ottobre 2001
- **II European Summer School on Experimental Nuclear Astrophysics**; S.Tecla-Acireale, Italy, Ottobre 2003

### **4. Borse di studio**

- **Borsa INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)** per laureandi, durata annuale, selezione nazionale per titoli; fruita nel periodo dal 29 aprile 1994 al 28 aprile 1995.
- **Borsa INFN** per neolaureati, durata biennale, selezione nazionale per titoli e colloquio; fruita nel periodo dal 28 agosto 1995 al 31 ottobre 1996.
- **Borsa dell'Università degli studi di Catania** a copertura del Dottorato di Ricerca, XII ciclo, selezione nazionale per titoli e colloquio, fruita nel periodo che va dal 1 novembre 1996 al 31 ottobre 1999.
- **Borsa post-dottorato del CSFNSM - Centro Siciliano di Fisica Nucleare e Struttura della Materia**, selezione nazionale per titoli e colloquio; fruita nel periodo che va dal 1 marzo 2000 al 28 febbraio 2001

### **5. Contratti di Ricerca**

- **Assegno di ricerca** dell'Università degli Studi di Catania, Facoltà di Scienze; contratto conferito attraverso pubblica selezione per titoli e colloquio. Durata del contratto biennale, tema di ricerca: *Emissione gamma di pre-equilibrio ed equilibrio in collisione tra ioni pesanti alle energie basse e intermedie.* Dal 2 Luglio 2001 al 31 Dicembre 2001.
- **Assegno di ricerca** dell'Università degli Studi di Catania, Facoltà di Ingegneria; contratto conferito attraverso pubblica selezione per titoli e colloquio. Durata del contratto quadriennale, tema di ricerca: *Sviluppo di tecniche di spettroscopia ottica avanzata per lo studio della dinamica dei biosistemi e per l'evoluzione di strumentazione innovativa in biomedicina.* Dal 2 gennaio 2002 al dicembre 2005.
- Dal 1994 al 2005 a fatto parte del **personale associato** all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), svolgendo la sua attività di ricerca all'interno dei **Laboratori Nazionali del Sud**.
- Dal dicembre 2005 a oggi è **Ricercatore staff**, dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Laboratori Nazionali del Sud.

## 6. Abilitazioni e Idoneità

- **Abilitazione all'insegnamento** negli Istituti secondari Superiori per le seguenti classi di concorso: Fisica, Matematica, Matematica e fisica, Matematica applicata, conseguita attraverso il concorso o sessione riservata d'esami OM 153 del 15/6/99 nel **Marzo 2000**.
- **Idoneità** conseguita nel concorso ordinario a cattedre per gli **Istituti secondari Superiori**; classe di concorso Fisica, **Marzo 2001**.
- **Idoneità** conseguita in concorso a un posto di III livello professionale con profilo di tecnologo presso l'INFN (bando 8193/2000); **Giugno 2001**.
- **Abilitazione Scientifica Nazionale** - Idoneità per la categoria **Professore Associato**, conseguita nel bando 2012 per il settore scientifico disciplinare: *Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali* (02/A1).

## 7. Collaborazioni Scientifiche

Ha svolto e svolge attività di ricerca in collaborazione presso diversi laboratori e centri di ricerca nazionali e internazionali, in collaborazione con diversi colleghi e gruppi di ricerca, tra questi vanno citati:

- I Laboratori Nazionali di Legnaro - INFN, Padova, Italy
- I Laboratori Nazionali di Frascati - INFN, Roma, Italy
- L'IMM-Istituto di Microelettronica e Microsistemi, CNR, Catania, Italy
- L'INO-Istituto nazionale di Ottica, CNR, Pisa, Italy
- La Facility Laser ABC, ENEA, Roma, Italy
- L'FBK-Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italy
- L'UCL - Laboratorio Ciclotrone di Louvain-la-Neuve, Belgio
- IL Rudjer Boskovic Institute, Zagreb (Croazia)
- L'IPN-Institute de Physique Nucleaire, Orsay, Parigi, Francia
- Il Laboratorio dell'accademia delle Scienze di Praga (Repubblica Ceca)
- L'USP- Departamento de Fisica Nucleare Instituto de Fisica - Sao Paulo (Brasile)
- L'IFIN-HH Bucarest-Magurele, Romania.
- Dipartimento di Fisica - Università di Bucarest, Romania.
- La facility PETAL- Bordeaux Francia.
- IFIN-HH, Bucarest, Romania.
- ELI-NP, Bucarest, Romania.
- Max-Planck-Institut for Nuclear Physics, Heidelberg, Germania

- IMM-CNR, Catania Italy
- ENEA, Frascati, Roma

Inoltre dal 1996 svolge attività di ricerca in collaborazione con l'industria, in particolare con la **ST-Microelectronics**, azienda multinazionale leader nel campo della produzione di microelettronici a semiconduttori. Grazie a questa collaborazione sono stati ideati e realizzati nuovi dispositivi per la rivelazione di radiazione.

## 8. Comitati e Arbitraggi

- E' stato membro della:
  - Società Italiana di Fisica (SIF)
  - International Society for optical Engineering (SPIE)
- Ha fatto parte di diversi comitati e gruppi di studio internazionali, oltre a comitati organizzatori di Scuole, Workshop e Conferenze internazionali.
- Ha svolto e svolge attività di **referee** per conto:
  - Di riviste scientifiche internazionali tra cui: Nuclear Instruments and Methods, Review of Scientific Instruments, Applied Physics A, Journal of Photochemistry and Photobiology, etc.
  - Del CNCSIS - Romanian National University Research Council.
  - Dell'ERC- European Research Council; nell'ambito del VII programma quadro, Synergy.
  - Del MIUR.

## 9. Responsabilità Scientifiche

- Dal 2003 al 2009 su incarico della direzione LNS è stato coordinatore del Laboratorio di Radio-Biologia e Biofisica dei Laboratori Nazionali del Sud.
- Dal 2009 al 2012 su incarico della direzione LNS è stato Team-Manager del gruppo di gestione dello spettrometro MAGNEX. Durante questo periodo è stato portato a finalizzato l'intero progetto in particolare con la realizzazione della sliding-seal e dei servizi necessari al funzionamento del set-up sperimentale. Inoltre è stato ingegnerizzato l'apparato di misura che oggi è una delle Facility disponibili ai LNS.
- Dal 2013 cura un laboratorio Laser, all'interno dei LNS, per sperimentazione in Fisica Nucleare e applicazioni, il Laboratorio LENS - Lasers Equipment for Nuclear Science.
- Dal 2016 su incarico della direzione LNS è referente locale per il Trasferimento Tecnologico dell'INFN.

E' stato responsabile delle seguenti linee di ricerca approvate e finanziate dell'INFN:

- Nel biennio 2002-2003 è stato **responsabile locale della linea di ricerca "DELOS-DElayed Luminescence for Optical Screening"** approvata e finanziata dalla V commissione scientifica Nazionale dell'INFN.
- Nel triennio 2004-2006 è stato **responsabile locale della linea di ricerca "SINPHOS-SINGLE PHOTon Spectrometer"** approvata e finanziata dalla V commissione scientifica Nazionale dell'INFN.
- Nel triennio 2007-2009 è stato **responsabile Nazionale della linea di ricerca "SINPHOS<sup>2</sup> -SINGLE PHOTon Sensor"** approvata e finanziata dalla V commissione scientifica Nazionale dell'INFN.
- Nel quadriennio 2010-2014 è stato **responsabile Nazionale della linea di ricerca "TRIS - Time Resolved Imaging Devices"** approvata e finanziata dalla V commissione scientifica Nazionale dell'INFN.
- Nel Biennio 2011-2012 è stato **responsabile Nazionale della linea di ricerca "NDT-Nanostructured Deuterated Target"** approvata e finanziata dalla V commissione scientifica Nazionale dell'INFN.

- Dal 2013 a 2016 è responsabile locale della linea di ricerca " g-RESIST - Gamma Ray Emitter from Self-Injected (staged) Thomson Scattering" approvata e finanziata dalla V commissione scientifica Nazionale dell'INFN.
- Dal gennaio 2016 è il Principal Investigator del progetto "SiCILIA- Silicon Carbide Detectors for Intense Luminosity Investigations and Applications" finanziato dalla V commissione scientifica Nazionale dell'INFN attraverso i bandi Call 2015.

## 10. Progetti di ricerca

Oltre alle linee di ricerca di cui è stato direttamente responsabile, ha collaborato e contribuito alle attività di ricerca di altre linee scientifiche finanziate dall'INFN e dal MIUR.

Nell'ambito INFN all'interno dei raggruppamenti nazionali *GR111 - Fisica nucleare sperimentale* e *GRV - Fisica applicata e sviluppo tecnologico* vanno citate le sigle:

- **TRASMA**, studio della radiazione gamma ammessa nelle collisioni tra ioni pesanti alle energie basse e intermedie attraverso reazioni di *completa e incompleta fusione*.
- **SERPE**, studio della radiazione gamma ammessa nelle collisioni tra ioni pesanti alle energie basse e intermedie attraverso *reazioni profondamente dissipative*.
- **ISORAD**, studio degli effetti di purezza e/o mescolamento dello spin isotopico, nell'emissione gamma da GDR.
- **MONOLITHIC**, studio e sviluppo di sistemi di rivelazione per nuclei pesanti a bassissima soglia d'identificazione.
- **ASFIN** e **ASFIN2**, studio di sezioni d'urto nucleari d'interesse astrofisico attraverso misure indirette.
- **ELI-MED/PLASMA MED**, studio e sviluppo di tecniche innovative di accelerazione LASER per applicazioni in Hadroterapia.
- **DREAMS**, Studio dei meccanismi di reazioni dirette (Charge Exchange) con ioni esotici attraverso l'utilizzo della facility MAGNEX
- **NUMEN**, determinazione degli Elementi di Matrice Nucleari nel doppio decadimento beta senza neutrini attraverso reazioni di doppio scambio di carica tra ioni pesanti.
- **SiCILIA**, sviluppo di rivelatori telescopici al Carburo di Silicio altamente resistenti al danno da radiazione.
- **NRLP**, Studio dei meccanismi di reazione e strutture nucleare all'interno de plasmi generati da Laser

Nell'ambito dei progetti finanziati dal MIUR è tra i proponenti del **progetto premiale INFN: "Astrofisica Nucleare"**.

## 11. Altre informazioni

Ad oggi la produzione scientifica dello scrivente conta oltre 200 lavori a stampa su: riviste nazionali ed internazionali; atti di congressi, workshop, scuole nazionali ed internazionali; contributi a volumi; reports di attività di vari laboratori nazionali ed internazionali (vedi lista delle pubblicazioni allegata). Tale attività e i risultati ottenuti sono stati divulgati in prima persona attraverso svariate **relazioni** anche **su invito** a congressi, workshop, scuole nazionali e internazionali.

Citation reports estratti da ISI Web of Science:

Sum of the Times Cited:	1447
Sum of Times Cited without self-citations:	1247
Citing Articles:	786
Citing Articles without self-citations:	697
Average Citations per Item:	10.26
h-index:	20

## 12. Attività Didattica

E' iniziata nel 1998 attraverso incarichi presso istituti d'istruzione secondaria superiore ed è proseguita, dal 2000, prevalentemente all'Università di Catania.

- Nell'ottobre 1998 è stato docente di **Matematica e Fisica** presso il liceo Scientifico Statale "Principe Umberto di Savoia" di Catania.
- Nel settembre 1999 è stato docente di **Matematica e Fisica** presso il liceo Ginnasio Statale M. Cutelli di Catania.
- Nel settembre 2000 è stato docente di **Matematica e Fisica** presso il liceo Scientifico Statale Principe Umberto di Savoia di Catania.
- Nell'anno accademico 2000-2001 è stato **membro delle commissioni d'esami** di Fisica sperimentale I dei corsi di laurea in Ingegneria Edile, Meccanica ed Elettronica della facoltà d'Ingegneria dell'Università di Catania.
- Nell'anno accademico 2001-2002 ha svolto le **esercitazioni in aula** e le attività tutoriali relative all'insegnamento di **Fisica Sperimentale I** per il corso di laurea in Ingegneria Edile presso la facoltà d'Ingegneria dell'Università di Catania, titolare del corso Prof. C. Spitaleri.
- Nell'anno accademico 2002-2003 ha svolto le **esercitazioni in aula** e le attività tutoriali relative all'insegnamento di **Fisica Sperimentale I** per il corso di laurea in Ingegneria Civile e Telecomunicazioni dell'Università di Catania, titolare del corso Prof. F. Musumeci. Nell'anno stesso anno accademico è stato docente di un corso sulle "**Radiazioni ionizzanti e loro rivelazione**" nell'ambito delle attività didattiche del Dottorato di ricerca in Ingegneria Fisica della facoltà d'Ingegneria dell'Università di Catania.
- Nell'anno accademico 2003-2004 ha svolto le **esercitazioni in aula** e le attività tutoriali relative all'insegnamento di **Fisica Sperimentale I** per il corso di laurea in Ingegneria Civile dell'Università di Catania, titolare Prof. F. Musumeci. Nello stesso anno accademico è stato docente del corso di "**Tecniche sperimentali per la spettroscopia di singolo fotone**" nell'ambito delle attività didattiche del Dottorato di ricerca in Ingegneria Fisica della facoltà d'Ingegneria.
- Dal 2004 al 2009 è stato Prof. **Incaricato** dell'insegnamento di "**Fondamenti di Fisica sperimentale II**" per il corso di laurea in Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Catania.
- Nel 2009 è stato Invited Professor presso IFIN-HH dove, nell'ambito delle attività didattiche del dottorato di ricerca, ha tenuto un ciclo di lezioni: "**Experimental Nuclear Techniques of AstroPhysical Interest**".
- Nel 2009 è stato Invited Professor presso Università di Bucharest dove, nell'ambito delle attività didattiche del dottorato di ricerca, ha tenuto un ciclo di lezioni: "**Interdisciplinary Application of Experimental Nuclear Techniques**".
- Nel 2012 è stato docente del modulo d'insegnamento "**Energia da Nucleare: fissione e fusione**", nell'ambito del Master di secondo livello in "**Efficienza Energetica e Risorse Energetiche Alternative**" dell'Università degli Studi di Enna "Kore".
- Dal 2012 a oggi è Prof. **Incaricato** degli insegnamenti di "**Fisica sperimentale I e Fisica sperimentale II**" per il corso di laurea in Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Catania.

E' stato relatore e correlatore di diverse tesi di laurea e dottorato della Facoltà di Scienze e della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Catania oltre che responsabile delle attività di ricerca all'interno dei LNS-INFN di diversi studenti del dottorato di ricerca in Fisica e Ingegneria Fisica.

## 13. Attività Scientifica

L'attività scientifica del candidato ha avuto inizio nell'anno 1994, i temi investigati sono inerenti: (i) allo studio dei meccanismi di reazione nelle collisioni tra ioni pesanti; (ii) gli studi di struttura nucleare (dalle strutture a cluster alfa a quelle dei nuclei leggeri stabili e radioattivi); (iii) la misura di sezioni d'urto nucleari d'interesse astrofisico in plasma; (iv) lo studio degli Elementi di Matrice Nucleari nel doppio decadimento beta senza neutrini (v) gli studi e sviluppi di strumentazione innovativa. Tali attività sono state svolte presso vari laboratori e istituti di ricerca nazionali ed esteri, anche in collaborazione con aziende multinazionali.

### 13.1 Lo studio dei meccanismi di reazione nelle collisioni tra ioni pesanti

**La radiazione gamma emessa nelle collisioni tra ioni pesanti alle energie basse e intermedie** - Lo studio dei parametri caratteristici della Risonanza di Dipolo Gigante Isovettoriale (IVGDR) costruita su gli stati eccitati, può essere condotta tramite misure esclusive di raggi gamma in coincidenza con i frammenti carichi emessi nelle collisioni tra ioni pesanti al variare dell'energia incidente. Oltre a ciò, con la stessa tecnica, si può evidenziare il decadimento gamma degli eventuali sistemi *dinucleari* formati nei primi istanti della collisione.

Tale attività approvata e finanziata dalla III commissione scientifica nazionale dell'INFN sotto la sigla TRASMA (Massive TRANSfer), ha avuto come primo obiettivo la progettazione e realizzazione di un apparato sperimentale per la conduzione degli esperimenti, il "multirivelatore TRASMA". Il Multirivelatore per la parte di rivelazione dei gamma, è costituito, da 63 cristalli di BaF<sub>2</sub> letti da fototubi; per la parte relativa alla rivelazione dei frammenti e delle particelle cariche leggere è costituito da un odoscopio in grado di ricoprire un range angolare dai 2°+10° in  $\theta$  (rispetto alla direzione del fascio) con simmetria cilindrica. L'odoscopio realizzato da una serie di rivelatori telescopici, il primo stadio costituito è costituito da rivelatori al silicio, a strip e di forma anulare dello spessore di 300 mm, il secondo stadio da un sistema di scintillatori CsI(tl), letti da fotodiodi. Le ottime performance si prestavano bene sia per l'identificazione di ioni medio leggeri sia per i residui di fusione e d'incompleta fusione attraverso l'utilizzo del tempo di volo.

Con tale rivelatore sono state studiate diverse collisioni nucleari: <sup>12</sup>C+<sup>64</sup>Ni a 94.6 MeV di E<sub>inc</sub>; <sup>58</sup>Ni + <sup>45</sup>Sc a 30 MeV/A di E<sub>inc</sub>; <sup>58</sup>Ni + <sup>51</sup>V a 30 MeV/A di E<sub>inc</sub>; <sup>40</sup>Ca + <sup>40</sup>Ca a 25 MeV/A di E<sub>inc</sub>; <sup>40</sup>Ca + <sup>48</sup>Ca a 25 MeV/A di E<sub>inc</sub>; <sup>32</sup>S+<sup>74</sup>Ge a 320 MeV di E<sub>inc</sub>. Gli esperimenti sono stati condotti sia ai LNS - Laboratori Nazionali del Sud sia ai LNL - Laboratori Nazionali di Legnaro.

In tutti i sistemi in esame è stato possibile eseguire uno studio accurato dei parametri caratteristici della GDR, la sua sopravvivenza ad alta energia d'eccitazione e grazie anche a un confronto con le previsioni dei calcoli di modello statistico, è stata inoltre evidenziata la presenza di un ulteriore contributo, un extra yield nella regione attorno a 10 MeV degli spettri gamma, non giustificabile da nessun tipo ipotesi relativa a diseccitazioni statistiche. L'origine di tale contributo è stata attribuita alla formazione di un dipolo che ha origine dinamica, "Dipolo Dinamico", connesso con l'asimmetria di carica  $(Zp-Np)/Ap$  e  $(Zt-Nt)/At$  nel canale d'ingresso, tale ipotesi ha trovato conferma anche in alcuni calcoli BNV (Boltzmann Nordheim Vlasov).

**Studio delle fluttuazioni dalle funzioni d'eccitazione dei processi dissipativi in collisioni tra ioni pesanti** - La misura delle funzioni di eccitazione in reazioni con proiettili leggeri è stato un campo di ricerca ampiamente investigato negli anni 60-70. Sulla base della teoria di Ericson delle fluttuazioni in reazioni di nucleo composto, tali misure hanno permesso l'estrazione di una notevole quantità d'informazioni sulla vita media e sulla densità dei livelli nucleari. Delle attività di ricerca in quest'ambito sono state condotte in collaborazione con colleghi dell'università di Lanzhou (Cina); in particolare lo studio del sistema <sup>27</sup>Al+<sup>27</sup>Al nella regione d'energie incidenti da 114.2 a 123 MeV. La principale difficoltà nella conduzione di questi studi, dal punto di vista sperimentale, è legata primariamente alla disponibilità di un acceleratore Tandem oltre all'identificazione, con bassa soglia energetica, dei frammenti carichi pesanti e alla misura della loro distribuzione angolare. Il meccanismo di reazione investigato è il Deep Inelastic Collision (DIC). Gli eventi selezionati sono quelli relativi alle coincidenze tra i due frammenti del sistema dinucleare formato nella collisione.

Le caratteristiche delle funzioni d'eccitazione misurate le differenziano notevolmente dalle fluttuazioni di Ericson, infatti si osservano su stati finali definiti, nel caso delle fluttuazioni osservate per i prodotti dissipativi l'integrazione è fatta su di uno spettro continuo, risultante dalla convoluzione di numerosi stati finali. L'osservazione delle fluttuazioni implica che tali stati siano popolati coerentemente. Infatti, la popolazione incoerente di  $N$  stati finali ridurrebbe di un fattore  $1/N$  l'ampiezza delle stesse. E' evidente come la coerenza dei canali finali porti come conseguenza la non validità dell'ipotesi di Bohr d'indipendenza tra canale iniziale e finale della reazione. L'analisi statistica, dei dati sperimentali raccolti, permette l'estrazione delle larghezze di coerenza delle funzioni d'eccitazione. Nell'ambito della teoria di Ericson, queste larghezze sono legate, tramite la relazione d'indeterminazione, alle vite medie dei livelli nucleari eccitati. Da dati si osserva come tali larghezze di coerenza, e quindi le vite medie apparenti, dipendano fortemente dall'angolo di rivelazione. E' evidente perciò come questi tempi comunichino informazioni sia sulla vita media dei sistemi popolati, che sulla dinamica della reazione. La variazione delle vite medie osservate ai vari angoli è stata quindi tentativamente connessa alla velocità di rotazione del sistema dinucleare. Tale effetto può essere spiegato assumendo la coerenza dei momenti angolari intervenenti nella reazione che, come ben noto, permette di spiegare la focalizzazione delle distribuzioni angolari nelle reazioni dissipative, e più in particolare la popolazione dei livelli del sistema di nucleare intermedio formato nella collisione.

**Studio degli effetti di "halo" sulla sezione d'urto di fusione ad energie attorno alla barriera coulombiana fluttuazioni dalle funzioni d'eccitazione dei processi dissipativi in collisioni tra ioni pesanti** - Il recente studio di reazioni indotte da nuclei instabili ha reso manifeste alcune caratteristiche peculiari della loro struttura; tra queste l'"halo" di neutroni. La funzione d'onda di questi nuclei "esotici" è molto estesa e da origine a un raggio nucleare che è dal 10% + 30% più grande di quello riportato nelle sistematiche. Alcuni lavori teorici prevedono che la presenza dell'"halo" abbia effetti sulla sezione d'urto di fusione a energie prossime o al di sotto della barriera Coulombiana; in particolare ci si aspetta, per tali nuclei, una più consistente sezione d'urto di fusione a causa della più bassa barriera Coulombiana e a causa dall'accoppiamento con modi d'oscillazioni dipolari. Altri modelli predicono una riduzione a causa dell'elevata sezione d'urto di break-up dovuta ai nucleoni debolmente legati. Per sciogliere tale controversia è stata misurata la sezione d'urto di scattering elastico, di transfer e di fusione ad energie attorno alla barriera Coulombiana del sistema  ${}^6\text{He}+{}^{64}\text{Zn}$  e per confronto anche quella del sistema  ${}^4\text{He}+{}^{64}\text{Zn}$ . La difficoltà più grande di tali esperimenti consiste soprattutto nella misura della sezione d'urto di fusione. Essendo infatti l'energia dei residui molto bassa ( $\sim 1$  MeV) la maggior parte di questi si arrestano nella targhetta mentre la frazione che emerge ha un'energia corrispondente all'elevato fondo  $\beta$  prodotto dal decadimento dello stesso  ${}^6\text{He}$ . Da qui la scelta del nucleo  ${}^{64}\text{Zn}$  come bersaglio, dettata dal fatto che i residui di fusione prodotti sono per la maggior parte radioattivi, quindi dalla misura off-line dei prodotti del loro decadimento (come i raggi  $x$  e  $\gamma$ ) si può estrarre la sezione d'urto di fusione. Tale tecnica è denominata come "di attivazione della targhetta". In questo modo quindi sono state misurate le distribuzioni angolari dello scattering elastico e attraverso una analisi basata sul modello ottico è stata estratta la sezione d'urto totale di reazione. Si è riscontrato che quella relativa al sistema  ${}^6\text{He}+{}^{64}\text{Zn}$  risulta circa un fattore due più grande di quella del  ${}^4\text{He}+{}^{64}\text{Zn}$  misurate entrambe alla stessa energia nel centro di massa. Inoltre si è osservato che una grossa parte della sezione d'urto totale di reazione è dovuta a processi diretti come transfer e breakup. La misura della funzione di eccitazione del processo di fusione ha evidenziato, nel range di energie esplorato, un grosso enhancement della sezione d'urto indotta dal  ${}^6\text{He}$  rispetto a quella del nucleo di  ${}^4\text{He}$ . In particolare questo grosso aumento è dovuto solo a un particolare prodotto di reazione  ${}^{65}\text{Zn}$ , per cui si è dedotto che altri meccanismi di reazione quali il trasferimento  $1n$  e  $2n$  contribuiscano a tale sezione d'urto misurata per il nucleo  ${}^{65}\text{Zn}$ . La funzione d'eccitazione dove il contributo misurato della sezione d'urto per il nucleo  ${}^{65}\text{Zn}$  è rimpiazzato con quello calcolato dal codice statistico CASCADE non evidenzia nessun aumento rispetto a quella indotta dall' ${}^4\text{He}$ .

### 13.2 Gli studi di struttura nucleare

**Il ruolo dello spin isotopico nella struttura nucleare e nelle collisioni tra ioni pesanti** - Attraverso l'utilizzo di fasci di ioni radioattivi come quelli che erano disponibili presso il Laboratorio Ciclotrone di Lonvain-La-Neuve (LLN-Belgio) e attraverso l'utilizzo del multirivelatore TRASMA, è stato possibile studiare il ruolo dello spin isotopico nella struttura nucleare in particolare sono stati studiati gli effetti di purezza/mescolamento dello *spin isotopico* nell'emissione di gamma da GDR.

La tecnica utilizzata era ancora una volta basata sul confronto diretto tra dati raccolti in due differenti esperimenti,  $^{14}\text{N}+^{10}\text{B}$  a  $E_{\text{inc}}=48$  MeV effettuato ai LNS di Catania e  $^{13}\text{N}+^{10}\text{B}$  a  $E_{\text{inc}}=45$  MeV effettuato al LLN in Belgio. Tramite le due reazioni, infatti, è stato popolato lo stesso nucleo composto  $^{24}\text{Mg}$  con la medesima energia di eccitazione e con distribuzioni di momento angolare molto simili. L'unica sostanziale differenza nei due casi è rappresentata dal diverso valore dell'*isospin* ( $T$ ) nel canale d'ingresso. La prima reazione è infatti caratterizzata dai valori  $T=0$  mentre la seconda solo dal valore  $T=0,1$ . Poiché nell'emissione gamma da GDR sono vietate le transizioni con  $\Delta T=0$  ciò implica che nella reazione  $^{14}\text{N}+^{10}\text{B}$  sono consentite solo transizioni verso stati con  $T=1$  e vista la moderata energia di eccitazione, la densità degli stati con  $T=1$  è minore rispetto a quella con  $T=0$ . Dovrebbe quindi seguire, nel caso di conservazione dell'*isospin*, una minore resa di produzione di gamma da GDR nella  $^{14}\text{N}+^{10}\text{B}$  rispetto a  $^{13}\text{N}+^{10}\text{B}$ . Tale previsione è stata confermata dai risultati sperimentali.

**Lo studio della struttura a cluster alfa di alcuni nuclei leggeri** - Oltre allo studio delle coincidenze gamma ulteriori risultati sono stati ottenuti per altri canali di reazione; tra questi il trasferimento del protone debolmente legato,  $^{11}\text{B}(^{13}\text{N},^{12}\text{C}^*)^{12}\text{C}_{\text{gs}}$  e  $^{11}\text{B}(^{13}\text{N},^{12}\text{C}^*)^{12}\text{C}^*$ , e ancora la formazione e decadimento del  $^{24}\text{Mg}$ . In quest'ultimo caso è stato possibile selezionare ed identificare eventi di coincidenze multipla di 6 particelle alfa nel canale d'uscita. Tra questi alcuni provenienti dal decadimento di due  $^{12}\text{C}$  eccitati sopra la soglia d'emissione di particelle. Dallo studio dello scattering  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  emerge la presenza di un gran numero di stati risonanti anche di alta energia d'eccitazione. Particolarmente interessante lo studio della risonanza a 46 MeV del  $^{24}\text{Mg}$ . Tale risonanza in passato veniva attribuita ad una struttura del  $^{24}\text{Mg}$  corrispondente ad una catena lineare di sei alfa. Altre indagini sperimentali hanno tuttavia mostrato come risonanze ad alta energia d'eccitazione corrispondenti a canali diversi non siano caratterizzate da questa struttura (esempio  $^8\text{Be}+^{16}\text{O}$ ). L'analisi dei dati della reazione  $^{13}\text{N}+^{10}\text{B}$  ha evidenziato come le particelle alfa identificate provengano oltre che da reazioni di fusione-evaporazione, anche dal decadimento di due  $^{12}\text{C}$  eccitati nello stato  $3_1^-$  ( $E=9.64$  MeV). Questo risultato, in accordo con i dati della reazione  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ , è notevolmente interessante visto la struttura a particella singola del particolare canale d'ingresso studiato.

Nell'ambito dello studio sulla struttura alfa cluster del  $^{24}\text{Mg}$  è stata eseguita anche la misura  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$  per popolare stati di alto spin. L'assegnazione dello spin è stata fatta sulla base dell'analisi delle correlazioni angolari da cui si è osservato che alcuni di questi stati corrispondono alle ben note risonanze della reazione  $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},^8\text{Be}_g)^{16}\text{O}$ .

**Lo Studio del canale di trasferimento di due neutroni nelle reazioni indotte dall' $^{18}\text{O}$**  - Nell'ambito delle attività svolte con lo spettrometro MAGNEX dei INFN-LNS, è stato effettuato uno studio delle yields dei differenti canali di reazione utilizzando un fascio di  $^{18}\text{O}$  su vari bersagli, selezionando gli eiettili. Grazie performance dell'apparato e alla risoluzione in massa dello spettrometro (circa 1/160) è stata possibile l'identificazione dei vari prodotti di reazione corrispondenti ai diversi canali. In particolare utilizzando bersagli di  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  è stato evidenziato un enhancement del canale di trasferimento di due neutroni rispetto a quello di un solo neutrone. Questo risultato dimostra che il canale ( $^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ ) procede principalmente attraverso un transfer diretto di una coppia di neutroni mentre sono piccoli i contributi provenienti da processi del secondo ordine.

Nuove indagini sono state condotte ai INFN-LNS utilizzando lo stesso fascio su diversi bersagli ( $^9\text{Be}$ ,  $^{11}\text{B}$  e  $^{13}\text{C}$ ) a 84 MeV di energia incidente. Lo spettro in energia del  $^{13}\text{C}$  ha mostrato diversi stati conosciuti di bassa energia fino a circa 7 MeV e strutture risonanti ben conosciute ad alta energia d'eccitazione. La forte eccitazione di quest'ultime insieme alla larghezza misurata (circa 2 MeV di FWHM) sono un forte indizio della presenza di eccitazioni di moto collettivo correlate al trasferimento della coppia di neutroni. Aspetti simili caratterizzano gli spettri energetici dei nuclei  $^{11}\text{Be}$  e  $^{13}\text{B}$ .

### 13.3 Le misure di sezioni d'urto nucleari d'interesse astrofisico

**Misure indirette di sezioni d'urto** - Nell'ultimo decennio l'astrofisica nucleare è divenuta una dei temi scientifici più studiati e dibattuti. In una qualsiasi reazione nucleare il numero di particelle rivelate per unità di tempo è proporzionale alla sezione d'urto. Nel caso di reazioni che coinvolgono particelle cariche a energie bassissime come quelle d'interesse astrofisico, la sezione d'urto è spesso inferiore al nanobarn per cui la limitazione principale di queste misure è rappresentata dal fondo. Un'alternativa alle misure dirette per estrarre tali informazioni altrimenti difficilmente accessibili è rappresentata dai metodi indiretti, tra i quali si colloca il Trojan Horse (TH). Su questa tematica è basata l'attività svolta all'interno della sigla ASFIN (ASTROFISICA NUCLEARE) approvata e finanziata a tutt'oggi dalla III commissione scientifica nazionale dell'INFN.

La validità del metodo è stata ampiamente dimostrata attraverso sia uno studio sistematico dell'influenza e delle caratteristiche del moto relativo all'interno del proiettile o bersaglio usati comunemente come nucleo cluster, sia attraverso un confronto tra le sezioni d'urto estratte col metodo TH e le ben note sezioni d'urto dirette nella parte di alta energia incidente. E' da rilevare inoltre come il metodo permetta di superare il problema tipico della barriera Colombiana delle reazioni dirette.

In particolare sono state studiate reazioni come la:  ${}^6\text{Li}(p,a){}^3\text{He}$  la  ${}^7\text{Li}(p,a){}^4\text{He}$  la  ${}^9\text{Be}(p,a){}^6\text{Li}$  la  ${}^{10}\text{B}(p,a){}^7\text{Be}$ . L'abbondanza degli elementi leggeri Litio, Berillio e Boro, rappresenta uno dei temi astrofisici più dibattuti; è connesso ai differenti scenari della nucleosintesi primordiale e stellare. L'abbondanza del Berillio può essere un potente mezzo per discriminare tra omogeneità e in omogeneità nella nucleosintesi primordiale, la sua abbondanza nelle stelle giovani, insieme al litio e al boro può essere significativa per la comprensione dei processi strutturali. Sono state studiate c/o in fase di studio inoltre la  ${}^{18}\text{O}(p,a){}^{15}\text{N}$  la  ${}^{17}\text{O}(p,a){}^{14}\text{N}$  e la  ${}^6\text{Li}(n,a){}^3\text{H}$  quest'ultima interessantissima perché utilizza per la prima volta, grazie al TH, un fascio di neutroni "virtuale", quello ottenuto dal break-up del deutone. Con tale risultato si spera di rafforzare maggiormente l'utilità del TH come mezzo d'indagine per lo studio di sezioni d'urto altrimenti inaccessibili.

In tutti i casi discussi, dopo la normalizzazione, l'andamento dell'S(E) estratto per via indiretta è diverso da quello ottenuto dalle misure dirette nella regione che va da 0 + 100 KeV, dove l'effetto di screening elettronico non è più trascurabile per i dati diretti. Il Trojan Horse permette quindi l'estrazione del fattore astrofisico di nucleo nudo e quindi presenta l'ulteriore vantaggio di dare accesso a informazioni su quello che oggi è considerato un argomento di grandissima attualità, lo screening elettronico.

**Misure dirette di sezioni d'urto** - Sempre nell'ambito della linea di ricerca ASFIN, un altro tema affrontato è stato la misura diretta della sezione d'urto  ${}^8\text{Li}(\alpha,n){}^{11}\text{B}$ . La misura di tale sezione d'urto è di notevole interesse dal punto di vista astrofisico perché costituisce la reazione chiave della nucleosintesi in omogenea. Una misura preliminare è stata ideata e realizzata ai LNS usando una particolare tecnica di produzione del nucleo di  ${}^8\text{Li}$  radioattivo: un fascio di  ${}^7\text{Li}$  a  $E_{\text{lab}} = 24.6$  MeV con corrente di circa 100 pnA è stato fatto incidere su di un target solido di deuterio dove attraverso la reazione  $d({}^7\text{Li},p){}^8\text{Li}$  veniva prodotto il  ${}^8\text{Li}$ . Entrambi i nuclei, il proiettile  ${}^7\text{Li}$  e il  ${}^8\text{Li}$  lasciavano il target con uno stato di carica medio 3+. Il  ${}^8\text{Li}$  è stato quindi separato attraverso un ulteriore filtraggio in momento da un magnete a 66° in combinazione con un doppietto di quadrupoli e focalizzato sulla cella contenente il target gassoso di  ${}^4\text{He}$  (l'intensità media raggiunta di 8Li sul target era di circa  $10^3$  particelle al secondo). In queste condizioni la reazione  ${}^8\text{Li}(\alpha,n){}^{11}\text{B}$  è stata studiata attraverso l'identificazione e misura del neutrone. La sezione d'urto misurata di  $500 \pm 170$  (statistico)  $\pm 70$  (sistematico) mb a un'energia media nel centro di massa di 1.25 MeV è consistente, all'interno degli errori, con i risultati di precedenti lavori riportati in letteratura. In seguito la misura è stata ripetuta, alla stessa energia e a un valore più basso, utilizzando il primo fascio ( ${}^8\text{Li}$ ) della nuova facility per la produzione di fasci radioattivi EXCYTE disponibile ai LNS. In questo nuovo run, oltre alle migliori condizioni per quanto riguarda il fascio incidente è stato ottimizzato il set-up sperimentale nella parte del tagging del fascio stesso. Le grandi sezioni d'urto misurate confermano sia i dati precedenti sia i risultati di lavori riportati in letteratura.

#### 13.3.1 Misure dirette di sezioni d'urto in plasma (\*)

Grazie al loro rapidissimo sviluppo i laser di alta potenza sono destinati a produrre una vera e propria rivoluzione in diversi settori scientifici e tecnologici, tra cui l'astrofisica-nucleare. Negli ultimi anni lo scrivente ha svolto parte della sua attività scientifica in quest'ambito.

Quasi tutta la materia osservabile nell'universo è in stato di plasma. Questo è classificato sommariamente attraverso i due parametri fondamentali: densità e temperatura. In ambito astrofisico questi variano ampiamente, dal gas freddo dello spazio interstellare al core denso e caldo delle stelle. La specificità dei plasmi generati attraverso l'interazione laser-materia (in termini di densità e temperatura) può dare accesso a nuove informazioni sui processi di nucleosintesi stellare, quali le reazioni di cattura (neutron and proton capture) oltre ad altri aspetti peculiari di astrofisica-nucleare e fisica nucleare quali ad esempio lo studio: delle collisioni anche tra nuclei eccitati (inaccessibili in laboratorio con gli acceleratori); dei meccanismi di reazione e le interazioni fondamentali che li governano in condizioni estreme di temperatura, densità, forti campi elettromagnetici etc.

Un'altra questione fondamentale riguarda l'effetto, ancora non del tutto compreso, dello screening elettronico, che genera un aumento delle sezioni d'urto a bassa energia. Esso è generato dagli elettroni che circondano i nuclei interagenti, generando un potenziale di screening che riduce la barriera Coulombiana, sia in altezza che in estensione radiale. Questo rende quindi le sezioni d'urto di fusione più grandi rispetto a quelle previste dall'interazione di nuclei completamente nudi. Va osservato che l'effetto dello screening elettronico in ambito stellare, a causa della presenza del plasma, può essere notevolmente differente da quello osservato e stimato in laboratorio attraverso gli studi di reazioni nucleari indotti da fasci ionici di bassa energia. Le informazioni che si possono pertanto estrarre anche dalle più accurate misure di sezioni d'urto con acceleratori in laboratorio non sono pienamente compatibili con un'accurata comprensione dei processi stellari. La disponibilità presente e futura di facilities capaci di produrre fasci Laser di alta potenza (fino alle decine di peta-watts ELI-NP) su piccoli volumi di materia e ad alto repetition rates rappresenta un'opportunità unica per investigare i meccanismi di reazione nucleare e le interazioni fondamentali che li governano in condizioni estreme di temperatura, densità, forti campi elettromagnetici etc. tipici dei plasmi prodotti dall'interazione laser-materia. In quest'ambito sono state condotte diverse attività scientifiche tra le quali: lo sviluppo di target con nano-strutture superficiali capaci di garantire un alto assorbimento della luce laser e di ospitare nuclei che compongono il plasma d'interesse astrofisico da riprodurre in laboratorio (sigla NDT finanziata dalla V Commissione scientifica dell'INFN); lo sviluppo di tecniche diagnostiche e di dispositivi per la caratterizzazione del plasma prodotto dall'interazione laser-materia (sigle SINPHOS<sup>2</sup> e TRIS, finanziate anche queste dalla V Commissione scientifica dell'INFN); la misura dei prodotti di reazione in ambiente di plasma; lo studio dell'evoluzione dei plasmi generati dall'interazione laser-materia ( $\gamma$ -RESIST, attività finanziate dalla V Commissione scientifica dell'INFN); le possibili applicazioni anche in fisica degli acceleratori e fisica medica (ELI-MED, attività finanziate dalla V Commissione scientifica dell'INFN) etc.

Gli studi sui meccanismi di reazione e struttura Nucleare all'interno dei plasmi sono stati proposti recentemente come attività da svolgere presso la nuova facility in costruzione ELI-NP a Bucarest, Romania. Tale attività denominata NRLP - Nuclear Reaction in Laser Plasma, prevede anche lo sviluppo e realizzazione di un opportuno apparato di misura, basato su l'utilizzo di più fasci Laser e su un sistema di rivelazione costituito principalmente da un muro di rivelatori a scintillazione per neutroni ad alta risoluzione e elevata granularità e un muro di SiC per la rivelazione delle particelle cariche emesse nelle collisioni nucleari all'interno del plasma.

Il progetto NRLP di cui il candidato è il Principal Investigator è stato valutato da due diversi pannel di esperti internazionali. Entrambi hanno sottolineato l'importanza e l'interesse scientifico delle tematiche di studio proposte oltre all'originalità delle metodologie di misura. Il progetto ha acquisito quindi un'altra priorità realizzativa ed è stato finanziato.

#### *13.4 Studio degli Elementi di Matrice Nucleari nel doppio decadimento beta senza neutrini (\*\*)*

Uno dei problemi fondamentali più importanti in fisica è il Doppio Decadimento Beta (DDB) senza emissione di neutrini. Esso è oggetto di studi e ricerche sia sperimentali che teorici. Diversi sono, al

livello internazionale, gli esperimenti che tentano di misurare la vita media di questo decadimento (GERDA, KamLAND-Zen, EXO, CUORE, Majorana e SuperNEMO). La sua osservazione permetterebbe di determinare se il neutrino è una particella di Dirac o Majorana oltre a dare una stima della sua massa media. L'estrazione della massa richiede comunque la conoscenza degli elementi di matrice nucleari,  $M^{(0^{\nu}0^{\beta})}$ , che appaiono nell'espressione dell'inverso della vita media.

$$|T_{1/2}|^{-1} = G^{(0^{\nu})} |M^{(0^{\nu}0^{\beta})}|^2 f(m_\nu, U_{ei})^2$$

Ogni esperimento quindi che cerchi di trarre informazioni sugli elementi di matrice è di notevole importanza. Il progetto NUMEN dei LNS-INFN, di cui lo scrivente è uno dei proponenti, mira a trarre informazioni sugli elementi di matrice nucleare attraverso lo studio delle reazioni di "Doppio Scambio di Carica (DSC)" tra ioni pesanti. Questi ultimi processi sono caratterizzati dal trasferimento di due unità della componente di isospin (due protoni che si trasformano in due neutroni o viceversa), lasciando inalterato il numero di massa. Nel boson exchange model dell'interazione nucleare questi meccanismi sono determinati dallo scambio di due mesoni isovettoriali come il  $\pi$ ,  $\rho$  e  $\delta$ . Nonostante l'interazione fondamentale del doppio scambio di carica sia differente da quella del doppio decadimento beta, vi è un certo numero di similarità che li accomuna.

Le reazioni DSC indotte da ioni pesanti possono essere studiate, con buona accuratezza e risoluzione, solo in pochissimi laboratori; tra questi i Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN. Ai LNS è infatti presente sia un acceleratore ciclotrone superconduttore (CS) K800 capace di produrre diversi fasci in un vasto range di energie, sia lo spettrometro magnetico a grande accettazione MAGNEX, capace di identificare con ottima risoluzione gli eittili di reazione. MAGNEX è disegnato per investigare processi caratterizzati da sezioni d'urto molto basse; permette l'identificazione di ioni pensati in: massa ( $\sim 1/200$ ), angolo ( $\sim 0.2^\circ$ ), energia ( $\sim 1/1000$ ), il tutto ricoprendo un grande range in angolo solido ( $\sim 50$  msr) e in momento ( $\sim 25\%$ ). MAGNEX inoltre garantisce la misura a  $0^\circ$ , che è la regione più importante da esplorare per questo tipo di ricerche. Il progetto prevede: nella prima fase una serie di esperimenti nelle attuali condizioni sperimentali; nella seconda fase è previsto l'up-grade dei rivelatori di piano focale dello spettrometro, la realizzazione di altri apparati di rivelazioni ancillari e l'up-grade del CS alle alte intensità.

Tra questi sviluppi è previsto l'up-grade del rivelatore di piano focale dello spettrometro che dovrà essere in grado di sostenere un incremento di due ordini di grandezza della corrente di fascio, oltre all'incremento previsto sulla presa dati degli esperimenti, necessario per assicurare una significatività statistica adeguata alle sezioni d'urto in gioco.

In questo quadro in Gr V si sta svolgendo un R&D (SICILIA) sul Carbuo di Silicio, materiale estremamente promettente dal punto di vista delle prestazioni in termini di radiation hardness, da cui ci si aspetta possano venire fuori le tecnologie utili alla realizzazione di rivelatori telescopici da utilizzare su MAGNEX e sulle altre attività tra cui NRLP dove l'alta resistenza al danno da radiazione e la insensibilità alla radiazione elettromagnetica nel visibile sono prerogative indispensabili.

### 13.5 Studio e sviluppo di nuova strumentazione

**Sviluppo di sistemi di rivelazione per ioni pesanti a bassa soglia energetica d'identificazione** - Lo studio di tematiche inerenti la Fisica dei fasci di ioni radioattivi così come lo studio dell'emissione gamma nelle reazioni di Fusione/Fissione sono state le motivazioni principali che hanno spinto verso lo sviluppo di nuovi dispositivi atti a discriminare in carica e con soglia energetica di rivelazione che sia la più bassa possibile, i frammenti pesanti emessi in una collisione nucleare.

In generale l'identificazione in carica è realizzata attraverso l'utilizzo di rivelatori telescopici a due stadi. Il limite maggiore di questa tecnica riguarda la soglia energetica d'identificazione determinata dallo spessore dello stadio  $\Delta E$ . Spesso, quest'ultimo è realizzato utilizzando un rivelatore a gas dove lo spessore effettivo può essere semplicemente regolato attraverso il cambio di pressione.

La dove sono richiesti specifici limiti di compattezza e granularità, i rivelatori al silicio sono preferiti a quelli a gas. Sfortunatamente, commercialmente, sono disponibili rivelatori con spessori minimi fino a  $5 \mu\text{m}$  (per ovvie ragioni tecnologiche) il che equivale a fissare dei limiti della soglia energetica di

rivelazione. Partendo dall'esigenza di ridurre la soglia d'identificazione si diede inizio, nel 1993, ad un'attività di collaborazione con i ricercatori della *ST-Microelectronics* di Catania per sviluppare un rivelatore monolitico che superasse i limiti di fragilità legati ad un sottile stadio  $\Delta E$  attraverso un'impiantazione ionica ad alta energia di quest'ultimo sullo stadio  $E$ . Lo spessore richiesto per ragioni fisiche era di circa  $1 \mu\text{m}$ . Il rivelatore che oggi è commercialmente disponibile ( $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ), è stato sviluppato attraverso una ripetuta attività test con e senza fasci ionici, evidenziando l'ottima capacità nell'identificare particelle con una bassa soglia, valutata attorno a  $350 \text{ keV} \cdot \text{A}$  per ioni come C e N.

In seguito, è stata esplorata la possibile realizzazione di dispositivi a più grande superficie attraverso due diverse soluzioni: (i) la segmentazione dello stadio  $\Delta E$  con un substrato comune, un rivelatore telescopio a strip ( $5 \times 15 \text{ mm}^2$ ); (ii) la realizzazione di un rivelatore di grande superficie da  $40 \times 40 \text{ mm}^2$ , da utilizzare con un preamplificatore dedicato. I dispositivi strip sono stati usati per la realizzazione di un sistema di rivelazione compatto denominato MONTE.

**Silicon Pulse-Shape discrimination** - Un altro importante sviluppo, per lo studio di sistemi di rivelazione a bassa soglia energetica d'identificazione, è stato ottenuto attraverso l'utilizzo della tecnica del Pulse-Shape su rivelatori al silicio. La novità sostanziale di quest'applicazione consiste nel non aver per la prima volta utilizzato la tecnica del doppio gate per la sua realizzazione, con un immediato vantaggio in termini del numero di canali d'elettronica da usare. E' oramai ben noto che la forma dell'impulso di un rivelatore a stato solido dipenda dalla densità e dalla distribuzione spaziale delle cariche generate dallo ione da rivelare. Due principali parametri governano la forma dell'impulso: il tempo d'erosione del plasma  $T_{pl}$ , ed il tempo di transito dei portatori di cariche  $e-h$ .

L'informazione sullo ione incidente è contenuta nel tempo di salita o più precisamente nella parte del segnale che va da zero al suo valore massimo. Le eventuali differenze residue nei tempi di salita sono compensate normalmente utilizzando dei discriminatori *Constant-Fraction*. Polarizzando il rivelatore a pochi volt sopra il valore di svuotamento gli effetti di plasma e di collezione di cariche non saranno più minimi, anzi sono state osservate differenze nei tempi di salita dai nostri timing-amplifier fino a circa 80 ns. E' possibile quindi, agendo sul *delay* interno dei discriminatori esaltare al massimo la visibilità dell'effetto in modo da ottenere, con della semplice elettronica convenzionale, una discreta identificazione in Z degli ioni rivelati. Una buona risoluzione nelle matrici energia-tempo è stata osservata fissando i ritardi dei moduli *constant-fraction* a 80-100 ns con una soglia di rivelazione ottenuta di  $1.5 - 2 \text{ A} \cdot \text{MeV}$ .

**Reti Neurali per la calibrazione e l'analisi dati off-line di grandi rivelatori** - Un altro soggetto di ricerca è stato lo sviluppo di nuove tecniche per la calibrazione energetica di rivelatori a scintillazione CsI(Tl) unita al riconoscimento automatico delle specie atomiche identificate con la tecnica  $\Delta E-E$  in telescopi Silicio-CsI. A tal fine è stato utilizzato un approccio di tipo neurale. Le *Reti Neurali* come noto imitano la nostra struttura celebrale apprendendo la modalità di funzionamento da una fase iniziale, chiamata learning. In questa fase un set di esempi rappresentativi e di risposte valide viene presentato alla rete, le connessioni tra i vari elementi vengono modificate (attraverso un algoritmo) per riprodurre il risultato valido.

**Strumentazione Nucleare per applicazioni Biomediche** - Diverse evidenze sperimentali, nell'ultimo decennio, hanno mostrato che tutti i sistemi biologici sono sorgente di un flusso di fotoni estremamente basso, chiamato *ultraweak photon emission*, la cui intensità varia da pochi fotoni a poche migliaia di fotoni al secondo ed al centimetro quadro. Questo flusso si innalza temporaneamente, anche di diversi ordini di grandezza, se il sistema biologico viene precedentemente illuminato.

Diverse ricerche hanno poi dimostrato che questo fenomeno non solo è ubiquamente presente in tutti i sistemi biologici, indipendentemente dalla presenza o meno del fotosistema, ma che risulta anche essere influenzato dallo stato biologico dei sistemi per cui può essere utilizzato per ottenere informazioni sui sistemi biologici in modo rapido e non invasivo.

Da questi risultati, alcuni autori hanno proposto l'utilizzo della DL (*delayed luminescence*) da cellule o sistemi vegetali per sviluppare delle tecniche di analisi riguardanti il controllo dell'inquinamento ambientale o al controllo della qualità degli alimenti vegetali. La letteratura fornisce dati, che mostrano come anche le cellule e i tessuti dei mammiferi esibiscano una luminescenza molto

debole dopo esser state illuminate. Tale luminescenza è dipendente dal tipo di cellule. Tuttavia esistono diversi problemi in più rispetto al caso delle cellule vegetali. Infatti, in questo caso, la DL si presenta con un'intensità notevolmente ridotta, rispetto a quella delle cellule vegetali e la dinamica di decadimento è notevolmente più rapida. Inoltre lo spettro di eccitazione della luminescenza ritardata è spostato verso le alte frequenze e si sovrappone in questo caso a quello dei materiali generalmente usati come contenitori. Il segnale acquisito è quindi fortemente influenzato non solo dal fondo strumentale ma anche dalla luminescenza ritardata del contenitore. Questo fa sì che vi siano in realtà poche misure riportate in letteratura e, in questi pochi casi, le evidenze sperimentali siano rese farraginose da complicati trattamenti dei dati che devono tener in conto i fenomeni di diffusione e di assorbimento per calcolare alla fine il contributo alla luminescenza riguardante le sole celle. Allo scopo di estendere le potenzialità di questo tipo di analisi anche alle cellule, a tessuti (biopsia ottica) è stata sviluppata una strumentazione, basata sull'utilizzo di tecniche e rivelatori utilizzati nell'ambito della fisica nucleare, capace di misurare i singoli fotoni da qualche microsecondo in poi e con un buon rapporto segnale rumore. Tali attività sono state finanziate all'interno della V commissione scientifica nazionale dell'INFN sotto le sigle DELOS - DELayed Luminescence for Optical Screening, e SINGPHOS - SINGle PHOTon Spectrometer. La prima ha portato alla realizzazione di un apparato di misura costituito da un set di fotomoltiplicatori (selezionati per il conteggio di singolo fotone) su cui sono stati sviluppati dei partitori attivi gettabili in tempo per la ricezione del segnale di fluorescenza pronta (presente all'atto della foto eccitazione del campione); e da elettronica e sistemi di acquisizione dati utilizzati in ambito nucleare. Con la seconda sigla è stata finanziata un'attività per la realizzazione di uno spettrometro ottico miniaturizzato (basato su un prisma e micro lenti) per i conteggi di fotoni singoli. La micro componentistica ottica è stata realizzata attraverso la DLP (Deep Litografy with Particles) mentre i rivelatori di singolo fotone sono stati sviluppati e realizzati in collaborazione con la ST-Microelectronics. Tali rivelatori denominati SPADs - Single Photon Avalanche Diodes sono oggi alla base dei più comuni dispositivi denominati SiPM - Silicon Photomultipliers.

**Fotorivelatori per studi di sezioni d'urto in plasma** - Lo sviluppo dei rivelatori SPAD effettuato in collaborazione con la ST-Microelectronics ha generato nuove prospettive per la realizzazione di nuovi dispositivi e rivelatori. Tra questi gli array di SPAD sono stati i primi prototipi di SiPM testati e utilizzati nella lettura di scintillatori.

Il rivelatore di neutroni proposto per la sperimentazione a ELI-NP è stato ideato sui SiPM per le loro performance; bassa tensione di lavoro, insensibilità ai campi elettromagnetici, ottima risoluzione temporale etc., requisiti fondamentali per le misure in laboratori Laser di alta potenza, dove sono generati plasmi da interazioni Laser-Materia.

La possibilità di poter realizzare matrici con un gran numero di elementi unita all'ideazione di un innovativa tecnica d'indirizzamento ha portato lo sviluppo di un dispositivo capace di realizzare l'imaging risolto in tempo a singolo fotone. Tali dispositivi sono utilissimi per la caratterizzazione ottica del plasma generato nell'interazione laser-materia quindi per la sperimentazione a ELI-NP. Tali attività sono state finanziate dalla V commissione scientifica dell'INFN nelle sigle SINGPHOS<sup>2</sup> e TRIS.

**Rivelatori Telescopici ΔE-E in Carburo di Silicio** - Il SiC è uno dei materiali più interessanti per la realizzazione di rivelatori altamente resistenti al danno da radiazione soprattutto per le sue caratteristiche intrinseche di avere una band-gap e una energia di Displacement intermedia tra il Silicio e il Diamante. Queste caratteristiche lo rendono anche insensibile, come il Diamante, alla radiazione elettromagnetica nella dominio di frequenze associate alla luce visibile. Un rivelatore in SiC è quindi utilissimo per lo studio e l'identificazione dei prodotti di reazione emessi all'interno di plasmi generati da Laser. I dispositivi in SiC hanno delle ottime performance anche in applicazioni relative alla rivelazione dei raggi X. La bassissima corrente di leakage associata alle giunzioni SiC fa sì che questi dispositivi accoppiati ad elettronica di basso rumore possono essere utilizzati per rivelare raggi X con energie dell'ordine delle decine di keV a temperatura ambiente, con ottime prestazioni anche in termini di timing (centinaia di ps).

Gli attuali limiti tecnologici nella realizzazione di rivelatori SiC sono associati prevalentemente: i) agli spessori di rivelazione (tipicamente non superiori agli 80 micron, ottenuti per crescita epitassiale); ii) alla presenza di un substrato di materiale inerte (dello spessore alcune centinaia di micron) di supporto

all'epitassia, che costituisce una zona morta per la rivelazione; iii) le limitate dimensioni della superficie di rivelazione, attualmente dell'ordine di qualche millimetro quadro; iv) la realizzazione di giunzioni quasi sempre in tecnologia schottky, sicuramente meno performanti di quelle p-n.

Lo sviluppo proposto e finanziato dalla V commissione scientifica dell'INFN attraverso i bandi Call 2015 di cui il candidato è il P.I. ha come obiettivo quello di andare oltre i sopra citati limiti tecnologici, sviluppando le tecnologie e le competenze necessarie per la realizzazione di rivelatori telescopici  $\Delta E$ -E di grande superficie (1 cm<sup>2</sup>), con un primo stadio  $\Delta E$  dello spessore di 100 micron senza spessori morti aggiuntivi (da montare in trasmissione), un secondo stadio E dello spessore di 500-1000 micron come stadio di stop del telescopio.

Tali dispositivi, si prevede, siano realizzati sia in tecnologia schottky sia in tecnologia p-n. Il progetto coinvolge l'INFN, l'IMM-CNR e l'FBK-Trento, oltre alla partecipazione della ST-Microelectronics come partner industriale.

---

Le attività riportate nei punti (i), (ii), (iii) sono le linee di ricerca su cui lo scrivente è attualmente impegnato.

Data  
Catania 06/05/2016

Firma

# CURRICULUM VITÆ

LUCIANO PANDOLA

---

## PERSONAL DETAILS

Citizenship: Italian

Email: pandola@lns.infn.it

ORCID ID: 0000-0003-2867-0121

Staff Researcher at INFN, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy

Office phone number: +39 095 542291

---

## LANGUAGE KNOWLEDGE

Italian	native
English	fluent

---

## EDUCATION

09/1996–10/2001 Enrolled at Physics University in L'Aquila (Italy). Degree with full marks (110/110) cum laude obtained on October 31st, 2001.

Specialization: Particle Physics

Thesis: *Tecniche neurali di selezione degli eventi di neutrini solari nell'ambito dell'esperimento GNO presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso*

Supervisors: Prof. E. Bellotti and Prof. F. Cavanna

03/2002–02/2005 Ph. D. student at the University of L'Aquila and Gran Sasso National Laboratory. Thesis successfully defended on May 2005.

Thesis: *Measurement of the solar neutrino interaction rate on  $^{71}\text{Ga}$  with the radio-chemical experiment GNO*

Supervisors: Prof. E. Bellotti and Prof. F. Cavanna.

---

## POSITIONS

10/2000–02/2005 INFN affiliation as diploma and Ph. D. student at the INFN Gran Sasso National Laboratory, Italy.

03/2005 Activity within the Consorzio di Ricerca del Gran Sasso, Italy.

04/2005            Guest researcher at Max Planck Institute for Nuclear Physics, Heidelberg, Germany.

05/2005-12/2005 "Articolo 23" research position at the Gran Sasso National Laboratory funded by the ILIAS project in the FP6 of the European Union.

12/2005-05/2009 Winner of the national competition 2N-R3-ASTR/2005 of the INFN. Temporary research position at the Gran Sasso National Laboratory.

05/2009-07/2014 Staff research position within INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

02/2013-06/2014 Temporary leave for personal reasons to INFN, Laboratori Nazionali del Sud (Catania).

Since 07/2014    Staff research position within INFN, Laboratori Nazionali del Sud (Catania).

#### TITLES AND QUALIFICATIONS

01/2014-01/2018 University Teaching Qualification (Abilitazione Scientifica Nazionale) as Associate Professor (Seconda Fascia), for the segment 02/A1 ("Experimental particle physics").

#### RESPONSIBILITIES

##### Present:

Since 2004            Coordinator of the Task Group 10 (Simulations and background studies) of the GERDA experiment

Since 2010            Deputy coordinator (2010-2014) and Coordinator (since 2014) of the Task Group "Advanced Examples" of the Geant4 Collaboration

Since 2011            "Analysis Coordinator" within the GERDA Collaboration. Member ex-officio of the GERDA Collaboration Board

Since 2012            Representative of the Task Group "Low Energy Electromagnetic Physics" within the Geant4 Steering Board

Since 01/2015        Webmaster of the LNS website <http://www.lns.infn.it>

Since 02/2017        Member of the Speaker Committee of the NUMEN Collaboration

##### Past:

09/2006-03/2009 Coordinator of the TA-DUSL activity of the ILIAS project of the European Union (Sixth Framework Program). Member ex officio of the ILIAS Executive Board

04/2007-03/2009 Project Scientist of the ILIAS project of the European Union (Sixth Framework Program).

04/2008-07/2009 Scientific Secretary of the XI International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP2009), which was organized by the INFN-LNGS and took place in Rome (The Pontifical University of Saint Thomas Aquinas), July 1<sup>st</sup>-5<sup>th</sup>, 2009.

- 12/2011-09/2013 Elected LNGS representative in the INFN "Commissione Scientifica Nazionale 2" (CSN2). Member ex officio of the LNGS Laboratory Council (Consiglio di Laboratorio).
- 2012-2016 National (co)-coordinator of the project MC-INFN in the INFN "Commissione Scientifica Nazionale 5" (CSN5)
- 

## EXPERIMENT PARTICIPATION

### Present:

- Since 2004 GERDA (GERmanium Detector Array) - neutrinoless double beta decay
- Since 2002 Geant4 - Monte Carlo simulation particle interaction with matter
- Since 2014 NUMEN - Measurements of nuclear matrix elements of interest for neutrinoless double beta decay
- Since 2016 Dark Side - WIMP dark matter search

### Past:

- 2000-2005 GNO (Gallium Neutrino Observatory) - solar neutrinos
- 2002-2004 LENS R&D (Low-Energy Neutrino Spectroscopy) - solar neutrinos
- 2005 Double Chooz - reactor neutrinos (only letter of intent)
- 2005-2010 WArP (WIMP Argon Programme) - dark matter
- 

## SOFTWARE EXPERIENCE

<b>Programming</b>	FORTRAN, C/C++, bash (basic), Perl (basic), Pascal (basic)
<b>Operating Systems</b>	Linux, Unix, Windows
<b>Monte Carlo simulation</b>	Geant4, Geant3
<b>Analysis tools</b>	PAW, MS-Excel, AIDA, ROOT
<b>Other software</b>	L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X, MS-Word, MS-PowerPoint, MS-Access, FORTRAN CERN Libraries, CLHEP, CVS, SVN, Git, Joomla!

---

## PUBLICATION METRICS

Source: ISI Web of Knowledge, last update: Mar 31, 2017.

Number of papers in the database:	88
Total number of citations:	3741
Average citations per item:	42.51
Average citations per year (2012-2016):	505.2
<i>h</i> -index:	22
<i>g</i> -index:	61
<i>i10</i> -index:	34

---

Source: Google Scholar, last update: Mar 31, 2017.

Number of entries in the database:	186
Total number of citations:	7771
Total number of citations from 2012	5067
<i>h</i> -index:	30
<i>i10</i> -index:	50

---

Source: INSPIRE, last update: Mar 24, 2017.

Number of citable papers:	87
Total number of citations:	4367
Average citations per item:	50.2
<i>h</i> -index:	22
<i>g</i> -index:	66

---

Renowned papers (500+)	1
Famous papers (250-499)	2
Very well-known papers (100-249)	5
Well-known papers (50-99)	6
Known papers (10-49)	23
Less known papers (1-9)	29
Unknown papers (0)	21

---

---

## PAPERS AND CONFERENCE PRESENTATIONS

### Papers to refereed journals

1. L. Pandola et al., *Neural network pulse shape analysis for proportional counters events*, Nucl. Instr. Meth. A **522** (2004), 521
2. L. Pandola, *Search for time modulations in the Gallex/GNO solar neutrino data*, Astropart. Phys. **22** (2004) 219
3. C.M. Cattadori et al., *Observation of  $\beta$  decay of  $^{115}\text{In}$  to the first excited level of  $^{115}\text{Sn}$* , Nucl. Phys. A **748** (2005) 333
4. P. Belli et al., *Response of low-noise miniaturized proportional counters in the keV region*, Nucl. Instr. Meth. A **541** (2005) 354
5. GNO Collaboration, M. Altmann et al., *Complete results for five years of GNO solar neutrino observations*, Phys. Lett. B **616** (2005) 174
6. K. Amako et al., *Comparison of Geant4 electromagnetic physics models against the NIST reference data*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **52** (2005) 910
7. GEANT4 Collaboration, J. Allison et al., *Geant4 developments and applications*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **53** (2006) 270
8. J.N. Abdurashitov et al., *The BNO-LNGS joint measurement of the solar neutrino capture rate in  $^{71}\text{Ga}$* , Astropart. Phys. **25** (2006) 349
9. E. Bellotti et al., *Gamma-ray spectrometry of soil samples from the Provincia di L'Aquila (Central Italy): preliminary results*, Appl. Radiation and Isotopes **65** (2007) 858
10. L. Pandola et al., *Monte Carlo evaluation of the muon induced background in the GERDA double beta decay experiment*, Nucl. Instrum. Meth. A **570** (2007) 149
11. I. Abt et al., *Background suppression in neutrinoless double beta decay experiments using segmented detectors - a Monte Carlo study*, Nucl. Instrum. Meth. A **570** (2007) 479
12. P. Benetti et al., *Measurement of the specific activity of  $^{39}\text{Ar}$  in natural argon*, Nucl. Instrum. Meth. A **574** (2007) 83
13. K. Kröniger et al., *Feasibility study of the observation of the neutrino accompanied double beta-decay of  $^{76}\text{Ge}$  to the  $0_1^+$ -excited state of  $^{76}\text{Se}$  using segmented germanium detectors*, Ukr. J. of Phys. **52** (2007) 1036
14. WARP Collaboration, A.G. Cocco et al., *First results from a Dark Matter search with liquid Argon at 87 K in the Gran Sasso Underground Laboratory*, Astropart. Phys. **28** (2008) 495
15. V.A. Kudryavtsev et al., *Neutron- and muon-induced background in underground physics experiments*, Eur. Phys. J. A **36** (2008) 171
16. D. Acosta-Kane et al., *Discovery of underground argon with low level of radioactive  $^{39}\text{Ar}$  and possible applications to WIMP Dark Matter detectors*, Nucl. Instrum. Meth. A **587** (2008) 46

17. G.A.P. Cirrone et al. *Validation of the Geant4 electromagnetic photon cross sections for elements and compounds*, Nucl. Instr. Meth. A **618** (2010) 315
18. R. Acciarri et al., *Effects of Nitrogen contamination in liquid Argon*, JINST **5** (2010) P06005
19. R. Acciarri et al., *Oxygen contamination in liquid Argon: combined effects on ionization electron charge and scintillation light*, JINST **5** (2010) P05003
20. M. Boswell et al., *MAGE - a GEANT4-based Monte Carlo Application Framework for Low-background Germanium Experiments*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **58** (2011) 1212
21. M. Agostini et al., *Signal modeling of high-purity Ge detectors with a small read-out electrode and application to neutrinoless double beta decay search in  $^{76}\text{Ge}$* , JINST **6** (2011) P03005
22. M. Agostini et al., *Characterization of a broad energy germanium detector and application to neutrinoless double beta decay search in  $^{76}\text{Ge}$* , JINST **6** (2011) P04005
23. M. Agostini et al., *GELATIO: a general framework for modular digital analysis of HPGe signals*, JINST **6** (2011) P08013
24. R. Acciarri et al., *Demonstration and Comparison of Operation of Photomultiplier Tubes at Liquid Argon Temperature*, JINST **7** (2012) P01016
25. M. De Napoli et al., *Carbon fragmentation measurements and validation of the GEANT4 nuclear reaction models for hadrontherapy*, Phys. Med. Biol. **57** (2012) 7651
26. GERDA Collaboration, K.-H. Ackermann et al., *The Gerda experiment for the search of  $0\nu\beta\beta$  decay in  $^{76}\text{Ge}$* , Eur. Phys. J. C **73** (2013) 2330
27. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Measurement of the half-life of the two-neutrino double beta decay of  $^{76}\text{Ge}$  with the GERDA experiment*, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **40** (2013) 035110
28. E. Andreotti et al., *HEROICA: an underground facility for the fast screening of Germanium detectors*, JINST **8** (2013) P06012
29. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Pulse shape discrimination for GERDA Phase I data*, Eur. Phys. J. C **73** (2013) 2583
30. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Results on neutrinoless double beta decay of  $^{76}\text{Ge}$  by GERDA Phase I*, Phys. Rev. Lett. **111** (2013) 122503
31. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *The background in the  $0\nu\beta\beta$  experiment GERDA*, Eur. Phys. J. C **74** (2014) 2764
32. L. Pandola, *Status of double beta decay experiments using isotopes other than  $^{136}\text{Xe}$* , Phys. Dark Univ. **4** (2014) 17
33. M. De Napoli et al., *Nuclear reaction measurements on tissue-equivalent materials and Geant4 Monte Carlo simulations for Hadrontherapy*, Phys. Med. Biol. **59** (2014) 7643
34. L. Pandola et al., *Validation of the Geant4 simulation of bremsstrahlung from thick targets below 3 MeV*, Nucl. Instr. Meth. B **350** (2015) 41

35. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Production, characterization and operation of  $^{76}\text{Ge}$  enriched BEGe detectors in GERDA*, Eur. Phys. J. C **75** (2015) 39
36. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Results on  $\beta\beta$  decay with emission of two neutrinos or Majorons in  $^{76}\text{Ge}$  from GERDA Phase I*, Eur. Phys. J. C **75** (2015) 416
37. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Improvement of the Energy Resolution via an Optimized Digital Signal Processing in GERDA Phase I*, Eur. Phys. J. C **75** (2015) 255
38. GERDA Collaboration, M. Agostini et al.,  *$2\nu\beta\beta$  decay  $^{76}\text{Ge}$  into excited states with GERDA Phase I*, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **42** (2015) 115201
39. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Flux Modulations seen by the Muon Veto of the GERDA Experiment*, Astrop. Phys., **84** (2016) 29
40. C.M. Cattadori and L. Pandola, *Experimental and analysis methods in radiochemical experiments*, Eur. Phys. J A **52** (2016) 100
41. M. Cavallaro et al., *Neutron decay of  $^{15}\text{C}$  resonances by measurements of neutron time-of-flight*, Phys. Rev. C **93** (2016) 064323
42. Geant4 Collaboration, J. Allison et al., *Recent Developments in Geant4*, Nucl. Instr. Meth. A **835** (2016) 186
43. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Limit on the Radiative Neutrinoless Double Electron Capture of  $^{36}\text{Ar}$  from GERDA Phase I*, Eur. Phys. J. C **76** (2016) 652
44. E. Bagli et al., *Allowing for crystalline structure effects in Geant4*, in press on Nucl. Instr. Meth. B, doi:10.1016/j.nimb.2017.03.092
45. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Background free search for neutrinoless double beta decay with GERDA Phase II*, in press, preprint arXiv:1703.00570 [nucl-ex]
46. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Limits on uranium and thorium bulk content in GERDA Phase I detectors*, Astropart. Phys. **91** (2017) 15
47. D. Bolst et al., *Validation of Geant4 fragmentation for heavy ion therapy*, submitted to Nucl. Instr. Meth. A

## Other publications

1. I. Abt et al., *A new  $^{76}\text{Ge}$  Double Beta Decay Experiment at LNGS*, arXiv:hep-ex/0404039v1
2. F. Ardellier et al., *Letter of intent for Double-CHOOZ: a search for the mixing angle  $\theta_{13}$* , arXiv:hep-ex/0405032v1
3. I. Abt et al., *GERDA: The GERmanium Detector Array for the search of neutrinoless  $\beta\beta$  decay of  $^{76}\text{Ge}$  at LNGS*, Proposal, <http://www.mpi-hd.mpg.de/gerda/home.html>
4. L. Pandola, *Measurement of the solar neutrino interaction rate on  $^{71}\text{Ga}$  with the radiochemical experiment GNO* (Ph.D. thesis), CERN Document Server generic/public/cer-002644004
5. Y.-D. Chan et al., *MAGE - a GEANT4-based Monte Carlo framework for low-background experiments*, arXiv:0802.0860v1 [nucl-ex]

## Conference proceedings

1. N. Ferrari and L. Pandola, *Gallium Neutrino Observatory: data analysis improvements and systematic error reduction*, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **118** (2003), 445
2. L. Pandola for the Geant4 Collaboration, *Geant4 and its validation*, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **150** (2006) 44
3. G.A.P. Cirrone et al., *Precision validation of Geant4 electromagnetic physics*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2003 , IEEE **1** (2003) 482
4. N. Ferrari et al., *The GNO experiment*, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **143** (2005) 560
5. I. Barabanov et al., *Results of the LENS pilot experiment at Gran Sasso*, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **143** (2005) 559
6. C.M. Cattadori et al., *Results from radiochemical experiments, with main emphasis on the gallium ones*, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **143** (2005) 3
7. S. Schönert et al., *The GERmanium Detector Array (GERDA) for the search of neutrinoless  $\beta\beta$  decay of  $^{76}\text{Ge}$  at LNGS*, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **145** (2005) 242
8. F. James et al., *Code-testing of statistical test implementations* SLAC-R-703, eConf c030908 (2003), 110 and INFN/AE-04/05 (2004)
9. L. Pandola, *The GNO experiment*, Particle and Cosmology, Proceedings of the 12th International School. Baksan, Russia, INR RAS Publishing Dep., 3 (2004)
10. S. Chauvie et al., *Geant4 low energy electromagnetic physics*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2004, IEEE **3** (2004) 1881
11. K. Amako et al., *Validation of Geant4 electromagnetic physics versus protocol data*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2004, IEEE **4** (2004) 2115
12. K. Murakami et al., *Systematic comparison of electromagnetic physics between Geant4 and EGS4 with respect to protocol data*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2004, IEEE **4** (2004) 2120
13. C.M. Cattadori et al., *Beta decay of  $^{115}\text{In}$  to the first excited level of  $^{115}\text{Sn}$ : potential outcome for neutrino mass*, Phys. Atom. Nuclei **70** (2007) 127
14. M. Bauer et al., *MaGe: a Monte Carlo framework for the Gerda and Majorana double beta decay experiments*, Journal of Physics, Conf. Series **39** (2006) 362
15. L. Pandola and C. Tomei, *GERDA, a GERmanium Detector Array for the search for neutrinoless  $\beta\beta$  decay in  $^{76}\text{Ge}$* , American Institute of Physics, Conference Proceedings **842** (2006) 843
16. A. M. Szelc et al., *The current status of the WARP experiment*, Acta Physica Polonica B **37** (2006) 1997
17. H. Araujo et al., *Geant4 Low Energy Electromagnetic Physics*, Proceedings of Monte Carlo 2005 Topical Meeting (2005) 1119
18. S. Guatelli et al., *Precision validation of Geant4 electromagnetic physics*, Proceedings of Monte Carlo 2005 Topical Meeting (2005) 1135

19. C. Cattadori et al., *Search for the neutrinoless  $\beta\beta$  decay in  $^{76}\text{Ge}$  with the GERDA experiment*, Nucl. Phys B (Proc. Suppl.) **221** (2011) 382
20. P. Benetti et al., *First physics results from WARP 2.3 litre prototype*, Nucl. Phys B (Proc. Suppl.) **221** (2011) 53
21. S. Schönert et al., *Status of the Germanium Detector Array (GERDA) in the search of neutrinoless  $\beta\beta$  decays of Ge-76 at LNGS*, Phys. Atom. Nuclei **69** (2006) 2101
22. L. Pandola, *Muon-induced signals and isotope production in the GERDA experiment*, American Institute of Physics, Conference Proceedings **897** (2007) 105
23. C. Cattadori et al., *The GERmanium Detector Array read-out: Status and developments*, Nucl. Instrum. Methods A **572** (2007) 479
24. S. Chauvie et al., *Validation of Geant4 bremsstrahlung models: first results*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2006, IEEE **3** (2007) 1511
25. C. Galbiati et al., *Discovery of underground argon with a low level of radioactive  $^{39}\text{Ar}$  and possible applications to WIMP dark matter detectors*, J. Phys., Conf. Series **120** (2008) 042015
26. F. Longo et al., *New Geant4 developments for Doppler broadening simulations in Compton scattering - Development of charge transfer simulation models in Geant4*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2008, IEEE **1** (2009) 2865
27. R. Acciarri et al., *Effects of Nitrogen and Oxygen contamination in liquid Argon*, Nucl. Instrum. Meth. A **607** (2009) 169
28. A. D'Andragora et al., *Spectroscopic Performances of the GERDA Cryogenic Charge Sensitive Amplifier based on JFET-CMOS ASIC, coupled to Germanium Detectors*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2009 (2009) 396
29. A. di Vacri et al., *Characterization of Broad Energy Germanium Detector (BEGe) as a candidate for the GERDA Experiment*, IEEE Nucl. Sci. Symp., Conf. Record 2009 (2009) 1761
30. R. Acciarri et al., *Effects of Nitrogen and Oxygen contamination in liquid Argon*, Nucl. Phys. B, Proc. Suppl., **197** (2009) 70
31. R. Acciarri et al., *The WArP Experiment*, J. Phys., Conf. Series **203** (2010) 012006
32. V. Ivanchenko et al., *Recent Improvements in Geant4 Electromagnetic Physics Models and Interfaces*, Progress in Nucl. Scie. and Techn. **2** (2011) 898
33. M. Agostini et al., *Procurement, production and testing of BEGe detectors depleted in  $^{76}\text{Ge}$* , Nucl. Phys. B, Proc. Suppl. **229-232** (2012) 489
34. L. Pandola, *Overview of the European Underground Facilities*, American Institute of Physics, Conference Proceedings, **1338** (2011) 12
35. R. Acciarri et al., *The WArP Experiment*, J. Phys., Conf. Ser. **308** (2011) 012005
36. R. Acciarri et al., *Neutron to Gamma Pulse Shape Discrimination in Liquid Argon Detectors with High Quantum Efficiency Photomultiplier Tubes*, Physics Procedia **37** (2012) 1113

37. R. Acciarri et al., *Test and Comparison of Photomultiplier Tubes at Liquid Argon Temperature*, Physics Procedia **37** (2012) 1087
38. M. Agostini et al., *Off-line data processing and analysis for the GERDA experiment*, J. Phys., Conf. Ser. **368** (2012) 012047
39. P. Zavarise et al., *Off-line data quality monitoring for the GERDA experiment*, J. Phys., Conf. Ser. **375** (2012) 042028
40. M. Agostini et al., *The MGDO software library for data analysis in Ge neutrinoless double-beta decay experiments*, J. Phys., Conf. Ser. **375** (2012) 042027
41. J. Allison et al., *Geant4 electromagnetic physics for high statistics LHC simulation*, J. Phys., Conf. Ser. **396** (2012) 022013
42. C. Buck et al., *Measuring the  $^{14}\text{C}$  isotope concentration in a liquid organic scintillator at a small-volume setup*, Instrum. and Exp. Techniques **55** (2012) 34
43. M. De Napoli et al., *Nuclear fragmentation measurements for hadrontherapy and space radiation protection*, American Institute of Physics, Conf. Proc. **1525** (2013) 558
44. V.I. Ivanchenko et al., *Geant4 electromagnetic physics: improving simulation performance and accuracy*, Proceedings of SNA + MC 2013 (2014) 03101, doi:10.1051/snamc/201403101
45. V.I. Ivanchenko et al., *Geant4 Electromagnetic Physics for LHC Upgrade*, J. Phys., Conf. Ser. **513** (2014) 022015
46. R. Brugnera et al., *Status of the GERDA experiment*, PoS(Neutel 2013) (2014) 039
47. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Limits on neutrinoless double beta decay of  $^{76}\text{Ge}$  by the GERDA experiment*, Physics Procedia **61** (2015) 828
48. S. Tropica et al., *Measurement of Fragment Production Cross Sections in the  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  and  $^{12}\text{C}+^{197}\text{Au}$  Reactions at 62 A MeV for Hadrontherapy and Space Radiation Protection*, Acta Physica Polonica B **45** (2014) 565
49. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Upgrade of the GERDA experiment*, PoS(TIPP2014) (2014) 109
50. M. De Napoli et al., *Carbon Fragmentation Cross Sections for Hadrontherapy and Space Radiation Protection*, Nucl. Data Sheets **119** (2014) 273
51. J. Apostolakis et al., *Progress in Geant4 Electromagnetic Physics Modelling and Validation*, J. Phys.: Conf. Ser. **664** (2015) 072021
52. F. Schillaci et al., *A transport beamline solution to control optically accelerated proton beams*, Europhysics Conference Abstracts (ECA) **39E** (2015) P5.208
53. C. Agodi et al., *NUMEN Project LNS : Heavy ions double charge exchange reactions towards the  $0\nu\beta\beta$  nuclear matrix element determination*, AIP Conf. Proc. **1686** (2015) 020001
54. M. Agostini et al., *Search of Neutrinoless Double Beta Decay with the GERDA Experiment*, Nucl. Part. Phys. Proc. **273-275** (2016) 1876

55. F. Cappuzzello et al., *The nuclear matrix elements of  $0\nu\beta\beta$  decay and the NUMEN project at INFN-LNS*, EPJ Web Conf. **117** (2016) 10003
56. A. Muoio et al., *Silicon carbide detectors study for NUMEN project*, EPJ Web Conf. **117** (2016) 10006
57. C. Agodi et al., *NUMEN Project LNS : Heavy Ions Double Charge Exchange as a tool towards  $0\nu\beta\beta$  Nuclear Matrix Element*, J.Phys., Conf. Ser. **724** (2016) 012001
58. M. Cavallaro et al., *Neutron decay of the Giant Pairing Vibration in  $^{15}\text{C}$* , J.Phys., Conf. Ser. **724** (2016) 012006
59. F. Cappuzzello et al., *The nuclear matrix elements of  $0\nu\beta\beta$  decay and the NUMEN project at INFN-LNS*, J.Phys., Conf. Ser. **730** (2016) 012006
60. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *First results from GERDA Phase II*, to appear in the Proceedings of Neutrino2016
61. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *Search for Neutrinoless Double Beta Decay with the GERDA experiment: Phase II*, PoS(ICHEP2016) (2016) 493
62. M. Cadeddu et al., *Recoil Directionality Studies in Two-Phase Liquid Argon TPC Detectors*, to appear in the Proceedings of ICNFP2016 (EPJ Web Conf.)
63. A. Bagulya et al., *Recent progress of Geant4 electromagnetic physics for LHC and other applications*, to appear in the Proceedings of CHEP2016
64. GERDA Collaboration, M. Agostini et al., *First results of GERDA Phase II and consistency with background models*, J.Phys.Conf.Ser. **798** (2017) 012106

## Conference presentations

1. *Analisi dei segnali nell'esperimento GNO*, LXXXVII Congress of the Italian Physics Society (SIF), Milano Bicocca, Italy, 24-29 September 2001
2. *Neural network analysis for GNO events: methods and results*, III International Workshop on Low Energy Solar Neutrinos, Heidelberg, Germany, 22-24 May 2002
3. *The GNO experiment*, XII International School "Particle and Cosmology", Baksan, Russia, 21-26 April 2003
4. *Geant4 and its validation*, IX Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors, Siena, Italy, 23-26 May 2004
5. *Risultati di fisica nucleare ottenuti in LENS R&D*, XC Congress of the Italian Physics Society (SIF), Brescia, Italy, 20-25 September 2004
6. *Ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini con l'esperimento GERDA*, XCI Congress of the Italian Physics Society (SIF), Catania, Italy, 26-30 September 2005
7. *GERDA, the GERmanium Detector Array for the search of neutrinoless double beta decay in  $^{76}\text{Ge}$*  Particles and Nuclei International Conference (PANIC'05), Santa Fe, NM, United States, 24-28 October 2005

8. *The GERDA experiment*, PANIC05 Neutrino Physics Planning Meeting, Santa Fe, NM, United States, 29-30 October 2005
9. *Early results from the operation of a 2.3-liters LAr prototype in the Gran Sasso Laboratory*, International Workshop on Cryogenic Liquid Detectors for Future Particle Physics, Gran Sasso Laboratory, Italy, 13-14 March 2006
10. *Ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini con l'esperimento GERDA*, XCII Congress of the Italian Physics Society (SIF), Torino, Italy, 18-22 September 2006
11. *Muon induced signals and Isotope production in GERDA*, II Topical Workshop in Low Radioactivity Techniques, Aussois, France, 1-4 October 2006
12. *Neutron- and muon-induced background for underground physics experiments*, IV ILIAS Annual Meeting, Chambéry, France, 26-28 February, 2007
13. *Natura e massa del neutrino. Ricerca del decadimento doppio beta*, Invited Talk, XCIV Congress of the Italian Physics Society (SIF), Genova, Italy, 22-26 September 2008
14. *The GERDA experiment*, XXII International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos (WIN09), Perugia, Italy, 14-19 September 2009
15. *Calcolo per Esperimenti di Fisica Applicata (Gruppo V - INFN)*, Invited Talk, Summer Workshop della Commissione Calcolo e Reti INFN - INFN GRID, Santa Tecla, Italy, 17-21 May 2010
16. *European underground laboratories*, Invited Talk, III Topical Workshop in Low Radioactivity Techniques, Sudbury, ON, Canada, 28-29 August 2010
17. *The European coordination effort: ILIAS and beyond*, Invited Talk. Cosmogenic Activity and Backgrounds Workshop (CAB), Berkeley, CA, United States, 13-15 April 2011
18. *Cosmogenic background for the GERDA experiment*, Cosmogenic Activity and Backgrounds Workshop (CAB), Berkeley, CA, United States, 13-15 April 2011
19. *Gran Sasso National Laboratory*, ASPERA Workshop: "The next generation projects in Deep Underground Laboratories: towards a common strategy and linking schemes", Zaragoza, Spain, 30 June - 2 July, 2011
20. *Double Beta Decay: Other Experiments*, Invited Talk, XIII International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP2013), Asilomar, CA, United States, 8 - 13 September 2013
21. *Il calcolo per l'esperimento GERDA fase II*, Workshop della Commissione Calcolo e Reti. Laboratori del Gran Sasso, Italy, 26-28 February 2014
22. *Geant4 Electromagnetic physics: status and developments*, Invited Talk, X International Conference of Computational Methods in Science and Engineering (ICCMSE2014), Athens, Greece, 4-7 April 2014
23. *Searching for the neutrinoless double beta decay with GERDA*, Invited Talk, VI International Symposium on Symmetries in Subatomic Physics (SSP2015), Victoria, BC, Canada, 7-12 June 2015

## Lectures and training courses

1. *Geant4 training course*, Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, TN, Unites States, 19-23 May, 2008
2. *Corso per l'utilizzo del codice GEANT4 in campo medico*, Training course ID-094-C09 organized by the Istituto Superiore di Sanità, Catania, Italy, 12-14 October 2009
3. *Utilizzo del toolkit di simulazione Geant4*, National training course organized by INFN (Piano Formativo 2010), Assergi, Italy, 8-12 November 2010
4. *INFN Course on C++, Root and GEANT 4*, Training course, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy, 13-14 December 2010
5. *Geant4 beginner course*, Training course, Queen's University, Belfast, United Kingdom, 21-24 January 2013
6. *Monte Carlo Techniques*, Ph.D. course (10 hours), Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy, 9-12 December 2013 and 13-16 January 2014
7. *Geant4 beginner course*, Training course, Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy, 12-16 May 2014
8. *ROOT beginner course*, Set of lectures, XI Seminario sul Software per la Fisica Nucleare, Subnucleare e Applicata, Alghero, Italy, 26-29 May 2014
9. *Monte Carlo Simulations*, Tri-Institute Summer School on Elementary Particles, Laurentian University, Sudbury, ON, Canada, 2-6 June 2014
10. *2nd GEANT4 international school and ROOT analysis concepts*, Training Course, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy, 17-21 November 2014
11. *Monte Carlo Techniques*, Ph.D. course (10 hours), Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy, 7-9 January 2015 and 26-29 January 2015
12. *ROOT beginner course*, Set of lectures, XII Seminario sul Software per la Fisica Nucleare, Subnucleare e Applicata, Alghero, Italy, 25-29 May 2015
13. *Geant4 beginner course*, Training course, Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy, 6-10 July 2015
14. *3rd International Geant4 and GPU programming school*, Training Course, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy, 9-13 November 2015
15. *Monte Carlo Techniques*, Ph.D. course (10 hours), Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy, 11-14 January and 1-4 February 2016
16. *Geant4 beginner course*, Set of lectures, XIII Seminario sul Software per la Fisica Nucleare, Subnucleare e Applicata, Alghero, Italy, 5-11 June 2016
17. *Geant4 beginner course*, Training course, Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy, 26-30 June 2016

18. *4th International Geant4*, Training Course, Vinca Institute for Nuclear Physics, Belgrade, Republic of Serbia, 23-28 October 2016
19. *Monte Carlo Techniques*, Ph.D. course (10 hours), Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy, 19-21 December 2016 and 30 January - 2 February 2017

### Service as Editor

- R. Aloisio, E. Coccia, N. Fornengo and L. Pandola, Proceedings of the XI International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP2009), Rome, Italy, 1-5 July, 2009. Journal of Physics, Conf. Series **203** (2010)
- L. Miramonti and L. Pandola, Proceedings of the IV Workshop in Low Radioactivity Techniques (LRT2013), Assergi, Italy, 10-12 April, 2013. American Institute of Physics, Conf. Proc. **1549** (2013)

### Service as Referee

Referee within the INFN Commissione Scientifica Nazionale 2 (Astroparticle Physics) for the following experiments/initiatives:

- OPERA (2011-2015), neutrino oscillations
- XENON1T (2011-), dark matter
- MOSCAB (2013-), dark matter
- CUPID (2015-), neutrinoless double beta decay

### Service as Reviewer

Peer Reviewer for the following journals for papers concerning pulse shape analysis, neural networks, Monte Carlo techniques and solar neutrinos:

- Nuclear Instruments and Methods A (NIM A)
- Nuclear Instruments and Methods B (NIM B)
- IEEE Transactions on Nuclear Science (IEEE-TNS)
- Solar Physics
- Astroparticle Physics
- Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)
- Indian Journal of Pure and Applied Physics (IJPAP)
- Radiation Physics and Chemistry (RPC)
- Chinese Physics C (CPC)