

**CSN5**  
Ricerca  
**Tecnologica**



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

**Consuntivi scientifici attività di gr 5 - Pavia**

**Consiglio di Sezione – 10 giugno 2021**

Silva Bortolussi

- Rivelatori-Neutronica

- ANET (Altieri)
- ARCADIA (Traversi)
- ASAP (Ratti)
- FINFET16v2 (Malcovati)
- FTM\_NEXT (Vai)

- Fisica Medica

- ENTER\_BNCT (Bortolussi)
- IT\_STARTS (Postuma)
- ISOLPHARM\_EIRA (Zenoni)
- MC\_INFN (Fontana)
- METRICS (Fontana)
- NEPTUNE (Bortolussi)
- PROTHYP (Mariani)
- SPEYE (Cattaneo)

- Fisica per i beni culturali

- CHNET\_NICHE (Alloni)

- INFN E

- ARCO\_FAST (Prata)



# Attività in Sezione

# Nuove Sigle 2021 gr5 e altre sigle di interesse

- FALAPHEL - Traversi
- NAMASSTE - Mariani
- QUANTEP - Bellani
- REMIX - Fontana
- TERAPOL - Pirzio
- AIM - Lascialfari

## FONDI ESTERNI

- INSPIRIT - Vercesi
- QUICHE - Macchiavello



# ANET

Advanced NEutron Techniques

RL – Saverio Altieri

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Torino (RN)  
LNF  
Pavia  
Trieste

## Anagrafica di Pavia

|               |     |
|---------------|-----|
| S. Altieri RL | 30% |
| D. Alloni     | 40% |
| S. Bortolussi | 10% |
| N. Protti     | 20% |

FTE 2020: 1

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

Costruire un collimatore compatto per neutroni, che raggiunga su una lunghezza di circa 1m un alto rapporto di collimazione  $L/d$  e piccoli effetti di penombra e divergenza. Vantaggi per la scienza dei neutroni:

- Riduzione dei vincoli progettuali per le strutture dove si fanno esperimenti con neutroni (spazio nelle sale sperimentali)
- Riduzione di flusso di neutroni primario/flusso collimato uscente
- Non serve riempimento di gas (He) o funzionamento sotto vuoto.

L'applicazione del collimatore potrebbe avvenire in una varietà significativamente più ampia di strutture dove esistono sorgenti medio intense di neutroni come piccoli reattori o acceleratori.

## Obiettivi di Pavia

Fornire expertise per la neutronica presso il reattore Triga del Lena di Pavia in particolare nell'uso del fascio collimato di neutroni termici realizzato presso il canale B del reattore.

Partecipare alle misure presso il Lena per la caratterizzazione del collimatore progettato e realizzato da Anet.

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

31-12-2020

Realizzazione e prima qualifica del collimatore compatto di neutroni

75

Nel corso del 2020 si sono svolte due campagne di misura presso il LENA con il fascio di neutroni termici del canale B del reattore TRIGA.

La prima campagna di misura è stata dedicata ad una caratterizzazione della linea di fascio, in particolare della divergenza, per avere un input realistico per la simulazione della sorgente.

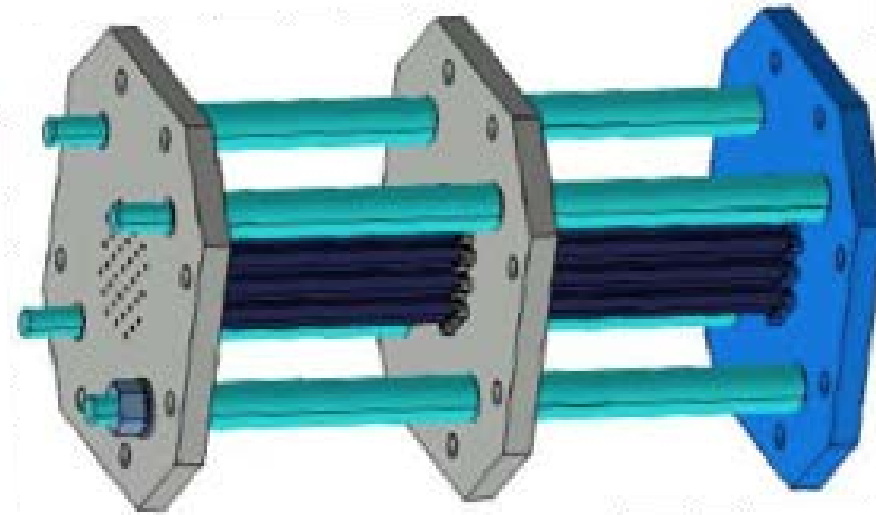
La seconda campagna è stata dedicata a comprendere le caratteristiche specifiche del prototipo di collimatore ANET, una versione circa  $\frac{1}{4}$  di quella finale. È stato studiato l'uso di un dispositivo collimatore multicanale e il risultato più rilevante è stata l'implementazione di una procedura di acquisizione dati sincrona e continua che permette di ottenere un'immagine di buona risoluzione dell'oggetto, minimizzando l'effetto della struttura discreta del collimatore

10% of  $B_4C$  + plastica  
2.5mm x 2.5mm x 50 mm

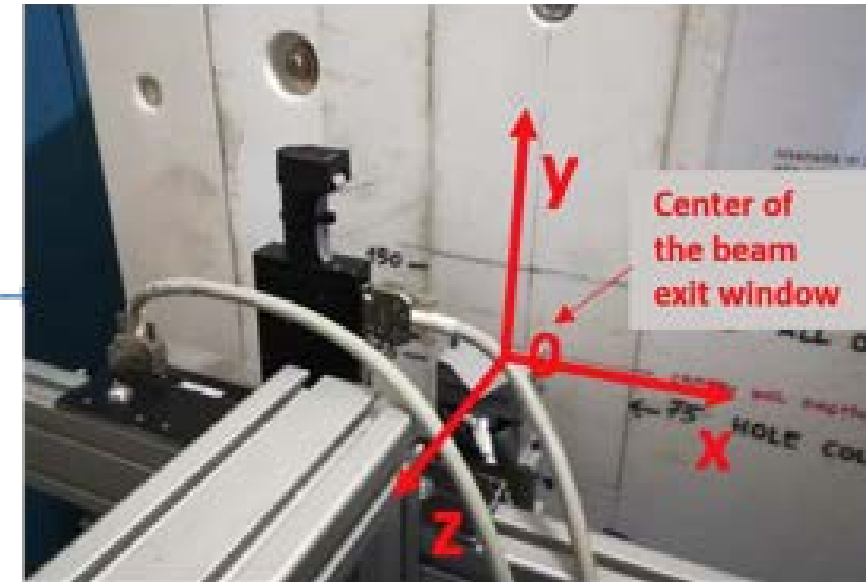
Posizioni di misura sul canale B  
del Triga del Lena



schema di una parte del collimatore



5cm + 5 cm





# Tesi e pubblicazioni

Monti, V et al. The e\_LiBANS facility: A new compact thermal neutron source based on a medical electron LINAC WOS:000506419900081 | 10.1016/j.nima.2019.163154 | NUCL INSTRUM METH A

Planell, OS et al. Development of gamma insensitive silicon carbide diagnostics to qualify intense thermal and epithermal neutron fields WOS:000545350600021 | 10.1088/1748-0221/15/06/C06021 | J INSTRUM

## Tesi specialistica

Mafucci Ettore Marcello

Directional selection techniques for thermal neutrons within the ANET project Universita' Di Torino Rel. Costa Marco

## Talks

Mafucci Ettore Marcello (M)

SIF 2020 Development of a compact neutron collimator for imaging techniques ...

# ARCADIA

Call CSN5

Advanced Readout CMOS Architectures with Depleted Integrated sensor Arrays

RN – Manuel Dionisio Da Rocha Rolo

RL – Gianluca Traversi

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Bologna

Milano

Padova

Pavia

Perugia

Torino (RN)

Trento

## Anagrafica di Pavia

|              |      |
|--------------|------|
| G. Traversi  | 40%  |
| L. Ratti     | 20%  |
| M. Pezzoli   | 100% |
| L. Gaioni    | 30%  |
| C. Vacchi    | 20%  |
| M. Mangisoni | 20%  |

FTE 2020: 2.3

# Goal del progetto

## Obiettivi generali:

Develop a novel platform based on a fully depleted CMOS sensor (monolithic structure, low capacitance, fast charge collection) with possible applications in a range of fields, including charged particle tracking in HEP, medical and space applications and X-ray imaging

## Obiettivi di Pavia

Design IP blocks such as bandgap reference voltage circuit, differential driver and receiver circuits.

Characterization of TID effects in single devices and circuits.

# Activity of the Pavia group in 2020

- Study of the radiation hardness of the technology (110 nm LFoundry).
  - Static and signal characterization of the MOSFETs devices
- Analog Electronics
  - IP Blocks
  - Characterization of the custom LVDS driver and receiver
  - Support to the verification activity for the submission of the MD1 (Main Demonstrator) chip

# ASAP

Array of Silicon Avalanche Pixels

RL – Lodovico Ratti

RN - Pier Simone Marrocchesi (INFN PI)

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Pisa (PI)

Padova

Pavia

TIFPA

## Anagrafica di Pavia

Noli Stefano (dott.): 100%

Ratti Lodovico (PA): 30%

Vacchi Carla (RU): 80%

FTE 2020: 8 totali, 2.1 a Pavia

# Goal del progetto

## Obiettivi generali:

Develop a new generation of **layered avalanche** detectors for charged particles (also in **medical applications**) leveraging **process scaling**, **thinning technologies**, **process tailoring** and **through silicon vias** for improved efficiency, reduced DCR and buttability to cover large areas.

## Obiettivi di Pavia:

Design and characterize CMOS SPADs in 150 nm and 110 nm technology, in a single-layer configuration and in a dual-layer configuration read out in coincidence. Study of effects both from ionizing and non-ionizing radiation; design of a wireless  $\beta$ -emitter probe.



# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

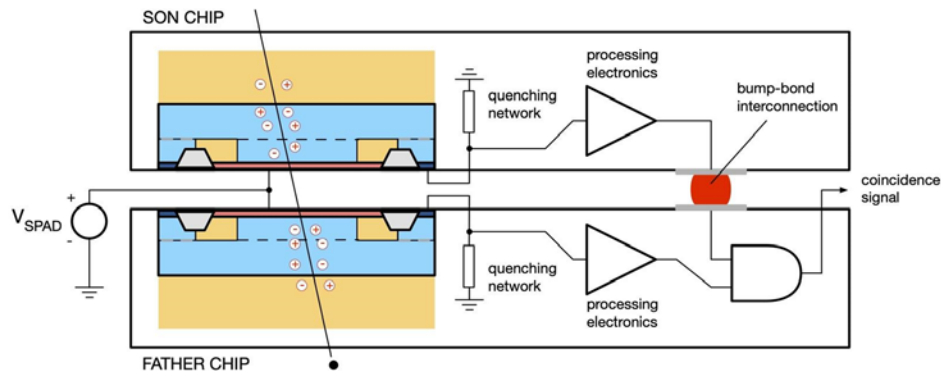
Characterization of single and dual-layer CMOS SPADs in 150 nm technology from the standpoint of dark count rate and optical cross-talk

Design of a prototype wireless imaging probe for radio-guided surgery with  $\beta$ -emitters

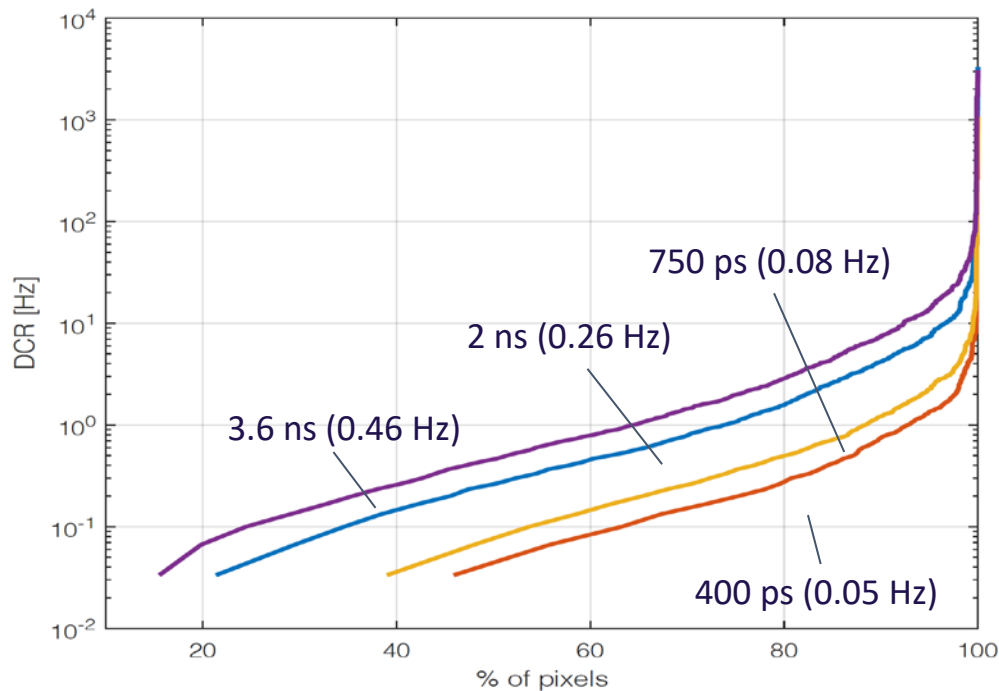
Bulk damage study in CMOS SPAD devices

Schematic design of a test chip with CMOS SPAD arrays in 110 nm technology

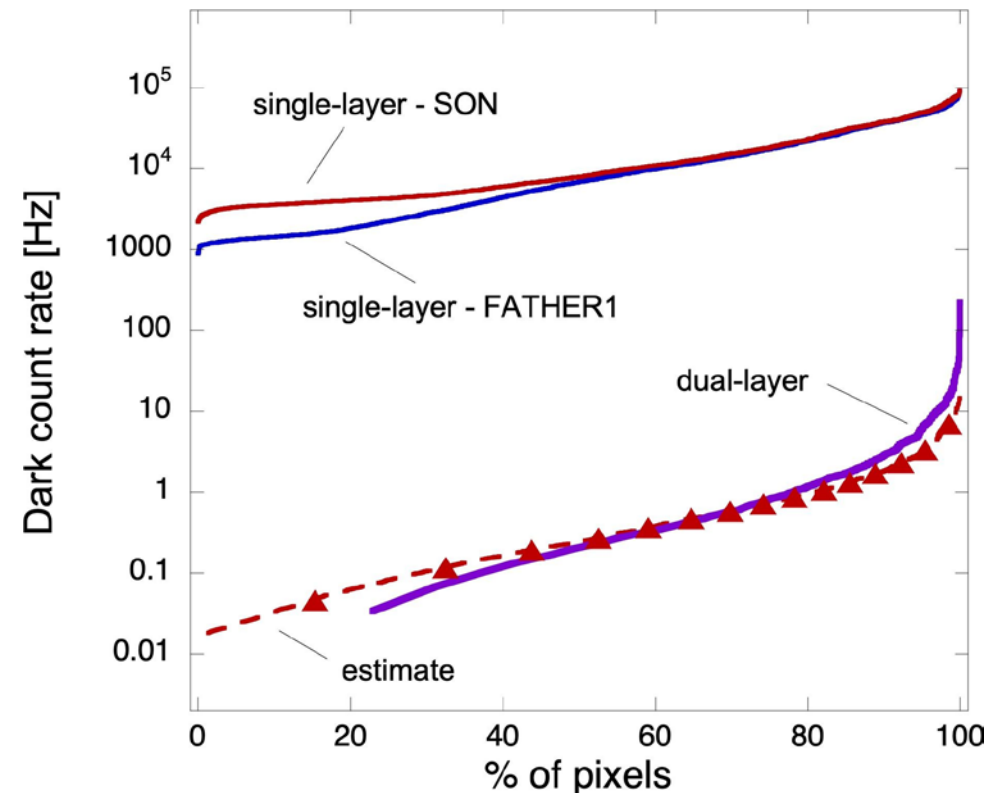
# Dual-layer CMOS SPADs



Dual-tier cell with schematic representation of the quenching, processing and coincidence circuits.



Coincidence DCR cumulative distribution curves for pixels in a dual-layer array with a 50  $\mu\text{m}$  pixel pitch. DCR measured at different values of the coincidence window width.



Estimated coincidence DCR cumulative distribution for a dual-layer a-1 array obtained from two single-layer distributions. A comparison with the coincidence DCR cumulative distribution from a dual-layer structure is proposed.

# Radiation damage study

probability of at least one neutron from a source with yield  $Y_n(E)$  scattering in the depleted volume of the SPAD

$$P_{d,T} \cong 1 - \exp\left(-\Phi_{eq} \frac{A_S \Delta z}{\kappa_\Phi \int_{E_i}^{E_f} Y_n(E) dE} \int_{E_i}^{E_f} Y_n(E) \Sigma_s(E) dE\right)$$

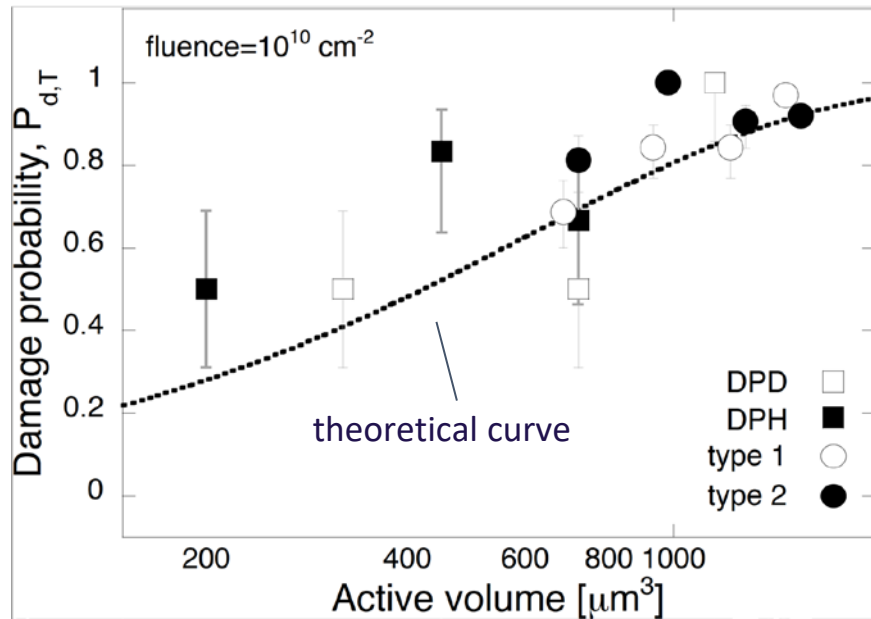
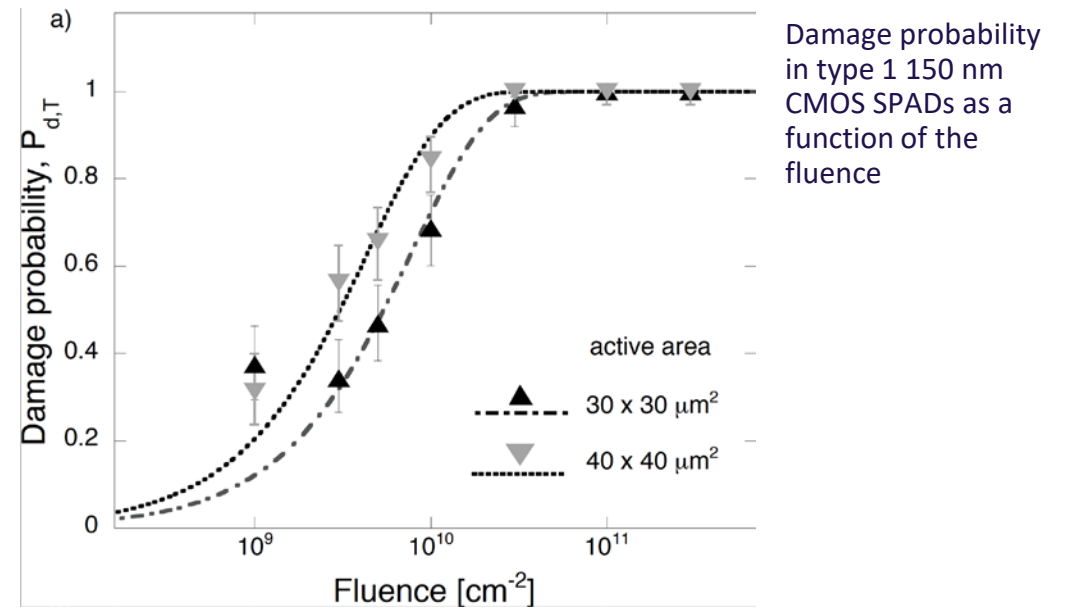
1 MeV neutron equivalent fluence

active area

active region thickness

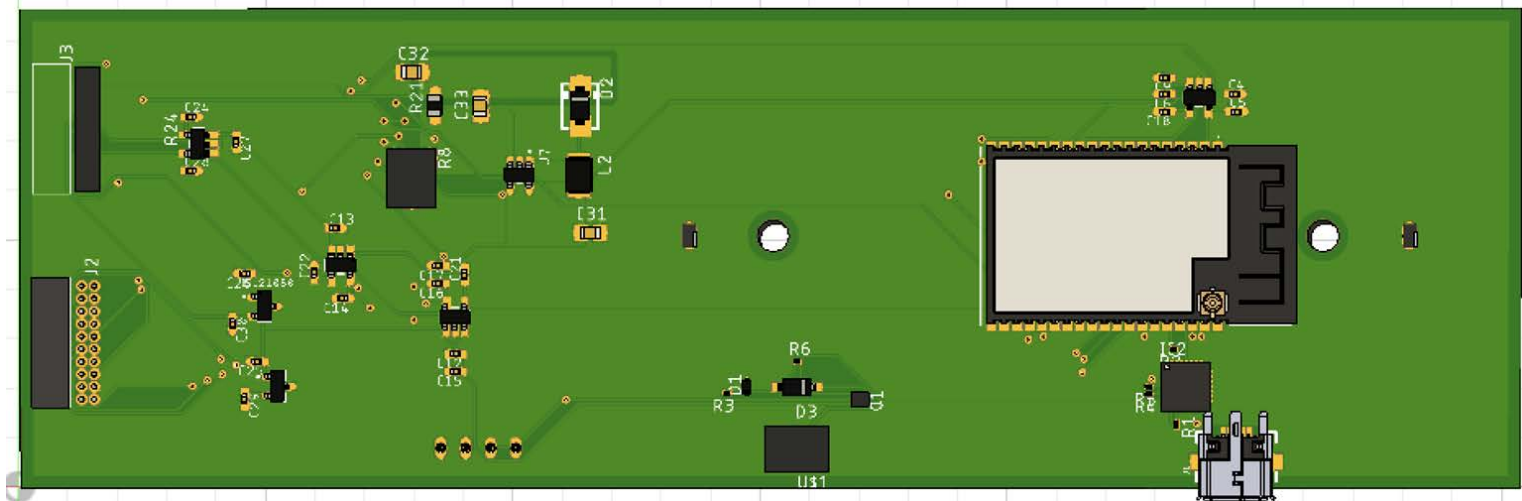
hardness factor (1.04)

neutron yield of the source



Damage probability as a function of the active volume at a fluence of  $10^{10} \text{ cm}^{-2}$  1 MeV eq. n for different kinds of CMOS SPADs.

## Beta-emitter probe



# Tesi

1. Gianmarco Torilla, “Characterization of 150 nm CMOS SPAD arrays for a dual layer position sensitive detector”, Università di Pavia, anno accademico 2018/2019

# Publicazioni

1. L. Ratti, P. Brogi, G. Collazuol, G.-F. Dalla Betta, A. Ficorella, P.S. Marrocchesi, F. Morsani, L. Pancheri, G. Torilla, C. Vacchi, “DCR performance in neutron-irradiated CMOS SPADs from 150 and 180 nm technologies”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 67, no. 7, pp. 1293-1301, 2020.

# FINFET16v2

Low-Power Rad-Hard Design in FinFET16 Technology

RL – Piero Malcovati

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- MiB Management & Analog front-end design & optical transceiver
- Padova Radiation damage analysis
- Pavia Mixed-Signal design and gate current measurements
- Torino Mixed-Signal design for particle detectors, high speed design
- Support from EPFL Radiation damaged simulation environment

## Anagrafica di Pavia

Piero Malcovati (100%)

Lodovico Ratti (20%)

Abhijeet Taralkar (100%)

FTE 2020: 2.2

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

- Design a set of basic devices (NMOS, PMOS, simple digital cells)
- Measure the device performance before and after irradiation (TID and SEU)
- Modify the fab SPICE model to include the effects of radiation
- Develop basic analog and mixed-signal circuits designed for rad-robustness
- Evaluate the radiation damage on the elementary blocks
- Demonstrate the achievement of the performance in term of signal processing quality and power consumption, before and after irradiation

## Obiettivi di Pavia

- Design basic mixed-signal circuits (ADC, DAC, ...) for evaluation of the effect of radiation damage on the performance
- Design of test structures for measuring the gate current of MOS devices before and after irradiation
- Measurements of the gate current of MOS devices before and after irradiation

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

The completion of the task on the design of mixed-signal circuits has been postponed to 2021, because of the impossibility in 2020, due to the COVID19 pandemic, of accessing UniMIB premises, where the PDK of the TSMC 16nm technology is available (due to NDA remote access is not possible)



# FTM\_NEXT

Fast Timing MicroPattern Gaseous Detectors

RL – Ilaria Vai

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- Pavia
- Bari
- Lecce

## Anagrafica di Pavia:

- I. Vai (0.3)
- P. Vitulo (0.2)
- M. Ressegotti (0.2)
- P. Salvini (0.2)
- C. Riccardi (0.2)

FTE 2020: Pavia 1 FTE

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

- **Dimostrare principio *Fast Timing Micro Patterns Gaseous Detectors* con prototipi multilayer su piccola scala**
- Stabilire una procedura di deposizione del DLC sui fogli di polyamide di alta qualità:
- Riproducibilità dei valori di resistività del DLC
- Alta qualità della deposizione permette un buon etching a workshop MPT del CERN
- Sviluppo e test di elettronica di front end veloce e ad alto guadagno, per elaborare piccoli segnali
- Sviluppo e test di prototipi 30x30 cm<sup>2</sup> o 50x50 cm<sup>2</sup> con sub-mm gas gaps
- Mantenere livello di design simulation-aided e analisi dei dati simulation-aided

## Obiettivi di Pavia

Produzione e test nuovi fogli per prototipo 10×10 cm<sup>2</sup>:

- Fogli di amplificazione kapton 50  $\mu\text{m}$  ricoperto da DLC + kapton resistivo (configurazione che ha dato fino ad ora i migliori risultati in termini di stabilità e risoluzione temporale)
- Misura Capacità Strip e Inter-Strip su readout board attuale prototipo

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

L'attività si è concentrata sui test dei nuovi layer di amplificazione costituiti da Kapton 50 um ricoperto da DLC + kapton resistivo prodotti a fine 2019. Questi fogli sono stati testati singolarmente e in stack di 2, in diverse condizioni, con Ar/CO<sub>2</sub> 70/30. E' stato possibile raggiungere una buona stabilità dal punto di vista HV, ma non è stato possibile osservare segnali o misurare correnti con sorgenti X-Ray. L'unico caso in cui è stato possibile osservare segnali è stato con l'utilizzo di una sorgente alfa, direttamente inserita nel rivelatore.

Ulteriori test sono stati svolti inserendo un foglio GEM in cascata con un layer FTM con la stessa configurazione precedente: in questo caso è stato possibile osservare segnale solo quando il foglio GEM era acceso, agendo quindi da fase di preamplificazione per il foglio FTM. Il test è stato quindi utile per due motivi:

1. ha permesso di escludere eventuali problemi alla readout board
2. ha evidenziato un problema legato al guadagno del foglio FTM considerato individualmente

Da un'ulteriore analisi al microscopio dei fogli abbiamo notato diversi danni superficiali, probabilmente dovuti a scariche che si sono sviluppate all'interno del rivelatore. Per questo motivo abbiamo avviato la produzione di nuovi fogli che dovrebbero essere completati a giorni.

# ENTER\_BNCT

Establishing New Technologies for BNCT @CNAO

RL – Silva Bortolussi

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte

- Pavia (PI)
- LNL
- Torino
- LNF

FTE 2020: 9.5

## Anagrafica di Pavia

Saverio Altieri (RN)

Silva Bortolussi (RL)

Nicoletta Protti

Ian Postuma

Chiara Magni

Setareh Fatemi

Chunhui Gong

Valerio Vercesi

Francesca Ballarini

Cinzia Ferrari

Umberto Anselmi Tamburini

Simonetta Geninatti Crich

Anna Maria Deagostino

Diego Alberti

Mario Ciocca

Michele Ferrarini

Stefano Agosteo

Manuele Bettelli

Nicola Sarzi Amadè

Andrea Zappettini

Davide Calestani

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

ENTER\_BNCT si propone di sviluppare alcune tecnologie necessarie per lo sviluppo di una facility clinica di BNCT basata su acceleratore di protoni. Si tratta di: rivelatori per la dosimetria e la misura della qualità del fascio, Beam Shaping Assembly per la formazione del fascio, simulazioni per la dosimetria ambientale, sistemi per la misura del boro in vitro e nel paziente (SPECT), sviluppo di un target di berillio.

## Obiettivi di Pavia

**WP2:** costruzione e caratterizzazione di un prototipo di Beam Shaping Assembly

**WP3:** caratterizzazione di una camera a ionizzazione per la misura della dose gamma nel fascio

**WP4:** studi dosimetrici sul paziente e nell'ambiente della sala di irraggiamento

**WP5:** misura intracellulare del boro

**WP6:** sviluppo di SPECT per dosimetria on-line

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

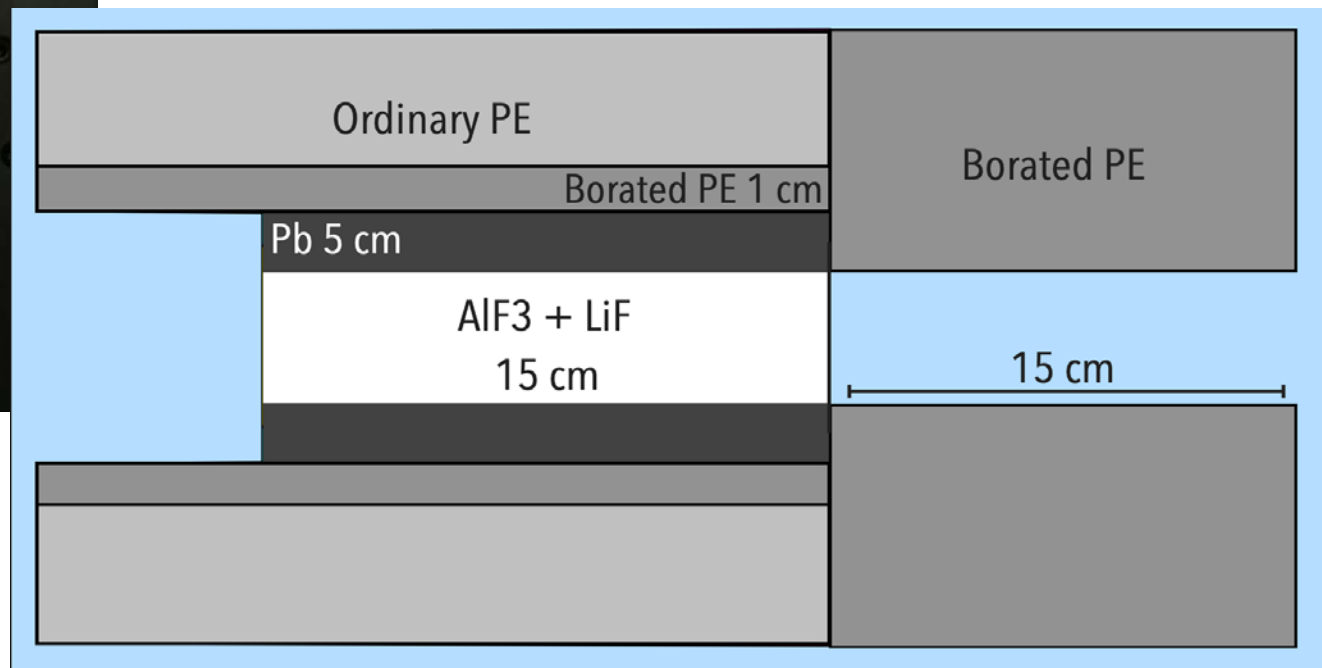
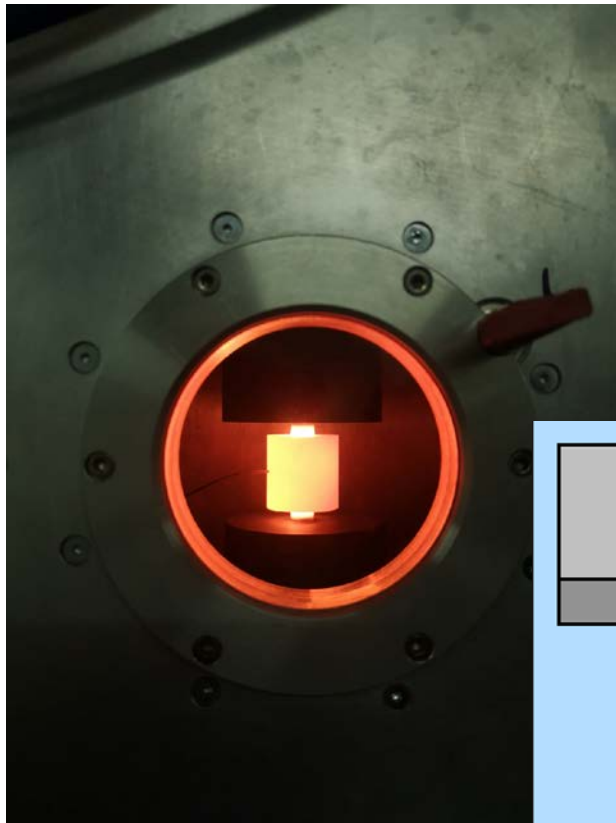
- Construction of the ionization chamber for gamma dose 100%
- Design and construction of BSA prototype 90%

WP2: Sinterizzazione di elementi di  $AlF_3$  litiato per studio delle caratteristiche Meccaniche – Progetto del prototipo di BSA per irraggiamento a LNL – acquisizione dei materiali per costruzione

WP3: Costruzione della camera presso CNEA (Argentina) e simulazioni MCNP a Pavia per test di sensibilità neutroni/gamma

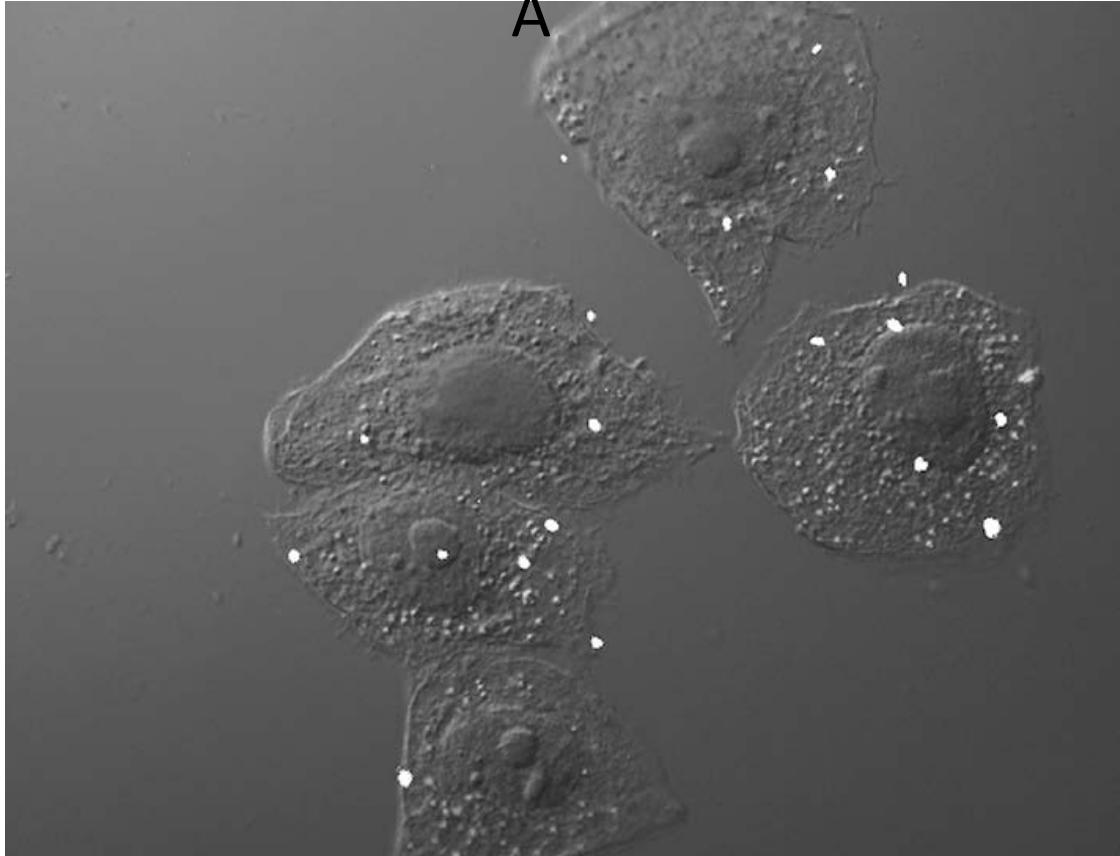
WP5: ottimizzazione della tecnica per co-localizzazione di imaging boro e di immagini di cellule coltivate in presenza di sostanze borate.



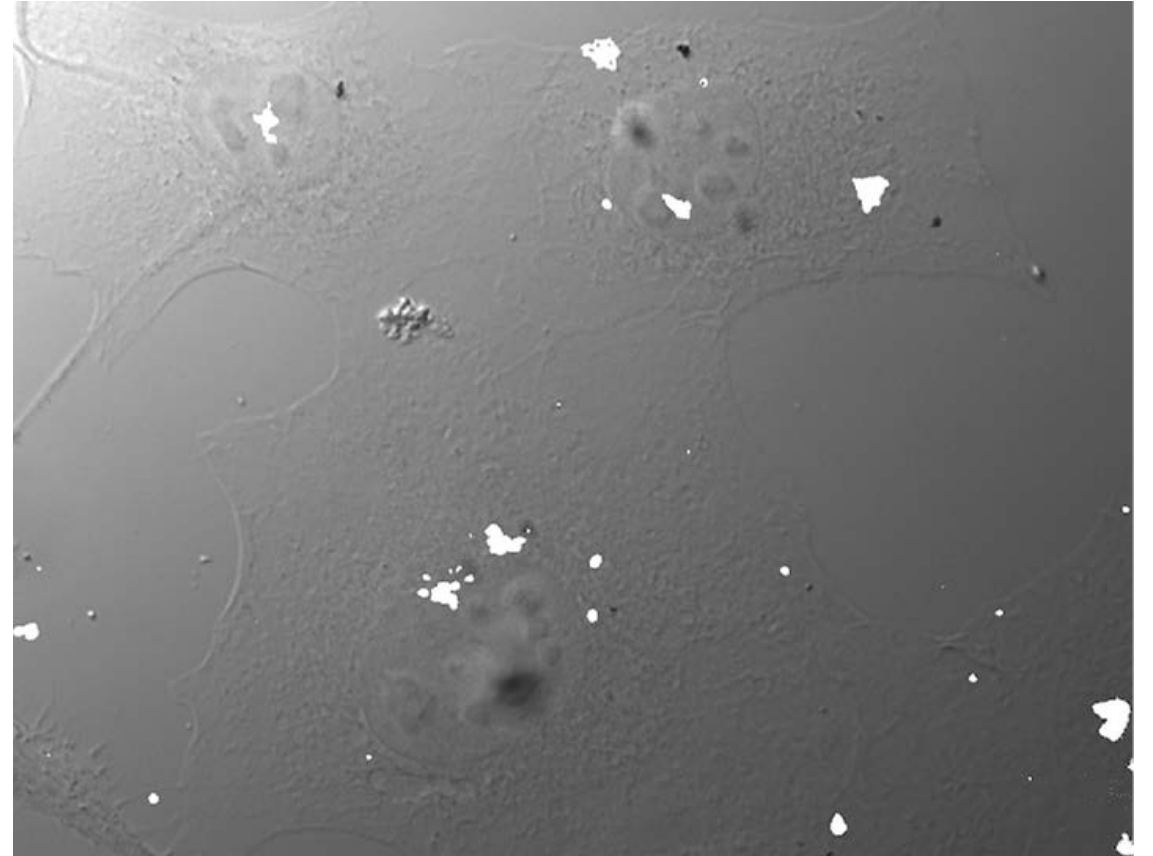


BP

A



nanoparticelle



# Tesi e pubblicazioni

Laurea Magistrale in Fisica, Alice Cimino, Giugno 2020:

**Monte Carlo study of an ion chamber sensitivity in a nuclear reactor neutron - gamma field**

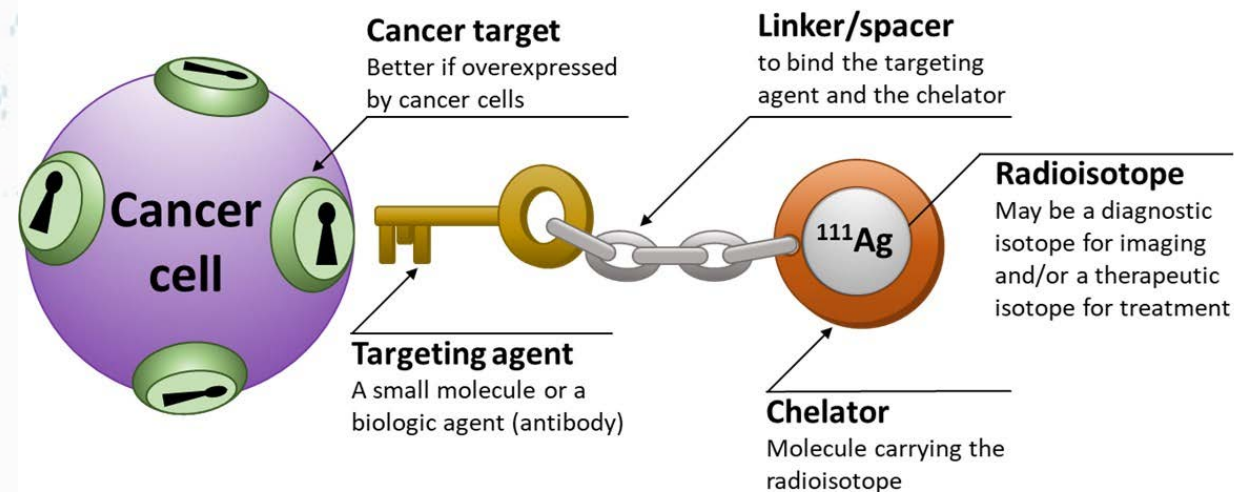
PAPER

C. Magni, I. Postuma, M. Ferrarini, N. Protti, S. Fatemi, C. Gong, U. Anselmi-Tamburini, V. Vercesi, G. Battistoni, S. Altieri, S. Bortolussi, **Design of a BNCT irradiation room based on proton accelerator and beryllium target**, Appl Radiat. Isotop, 165, 2020

# ISOLPHARM\_EIRA

Experiment on Interdisciplinary research on **Radioactive Ag**

RL – Aldo Zenoni



# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- Pavia (UniBs, UniPv-LENA)
- LNL (UniPd, IRCCS (RE), UniSi)
- Padova
- TIFPA (UniTn, Biotech, Cibio)
- LNS (UniCt, CAPIR)

## Anagrafica di Pavia

Zenoni Aldo (RL) UniBs  
Donzella Antonietta UniBs  
Oddone Massimo UniPv  
Prata Michele LENA  
Salvini Andrea LENA  
Smilgys Barbara UniPv  
Strada Lucilla UniPv

FTE 2020: 2,3

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

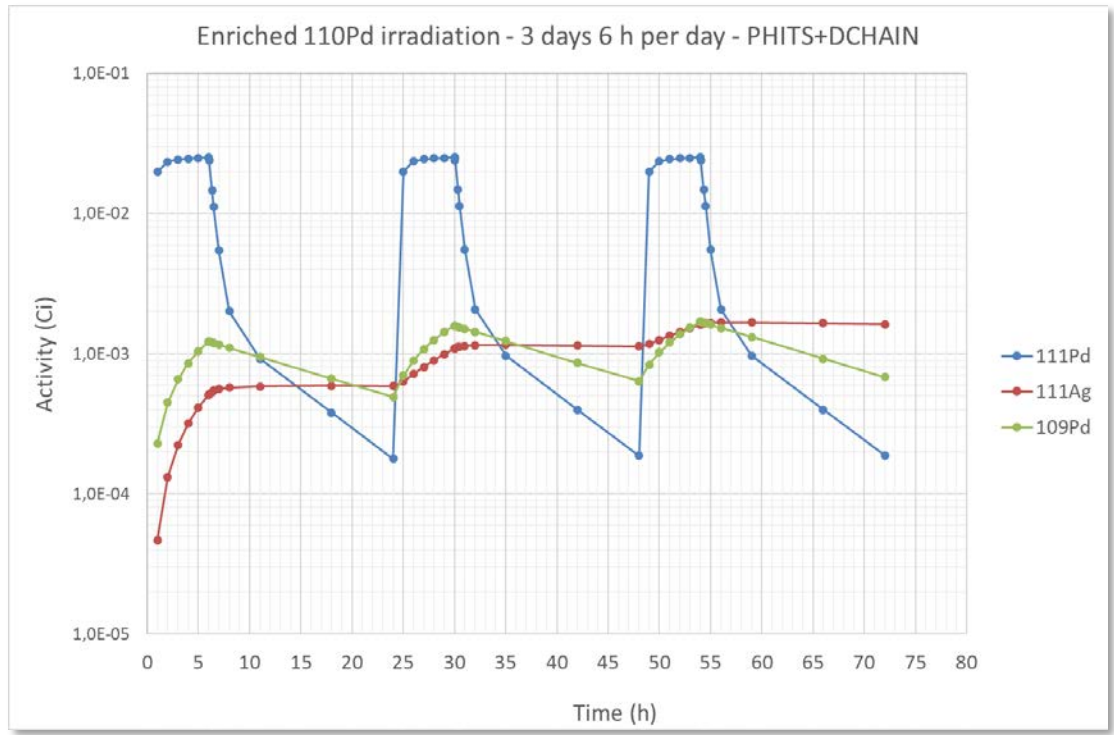
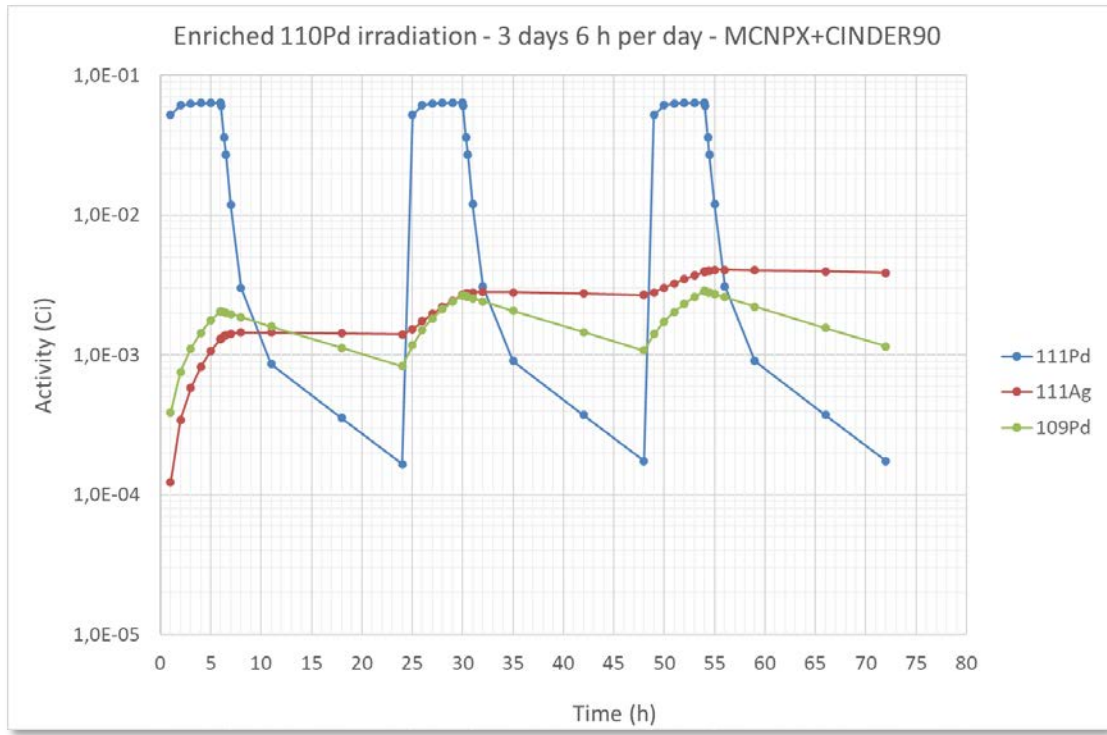
ISOLPHARM\_EIRA è un progetto multidisciplinare che si propone di sviluppare e collaudare in vitro e in vivo un radiofarmaco innovativo basato sul radionuclide  $^{111}\text{Ag}$ , promettente, ma mai precedentemente utilizzato. Il progetto si suddivide in tre Task con i seguenti obiettivi principali. Task1 (Fisica): produrre adeguate quantità dell'isotopo  $^{111}\text{Ag}$  tramite irraggiamento di un campione di  $^{110}\text{Pd}$  arricchito in reattore. Task2 (Radiochimica): sviluppare il radiofarmaco adatto per il  $^{111}\text{Ag}$  costituito da radioisotopo-chelator-linker-targeting vector. Task3 (Biologia): sviluppare modelli cellulari e realizzare studi sperimentali in vitro e in vivo del radiofarmaco così realizzato. A regime  $^{111}\text{Ag}$  sarà prodotto da SPES con il metodo ISOL.

## Obiettivi di Pavia

- Modellazione del processo di irraggiamento nel CC del TRIGA Mark II del campione di  $^{110}\text{Pd}$  arricchito, con successiva evoluzione dei radioisotopi prodotti.
- Test di irraggiamento di campioni di  $^{\text{nat}}\text{Pd}$  e  $^{110}\text{Pd}$  per validazione dei codici di calcolo e definizione delle procedure radiochimiche.
- Realizzazione di un dispositivo semiautomatico per l'estrazione del campione irraggiato dal CC, senza attendere il tempo di raffreddamento del bossolo di alluminio.
- Due o tre produzioni di  $^{111}\text{Ag}$  (alcuni mCi), separazione del radioisotopo con recupero del  $^{110}\text{Pd}$  arricchito e spedizione a LNS per marcatura del radiofarmaco per i successivi test in vitro e in vivo.

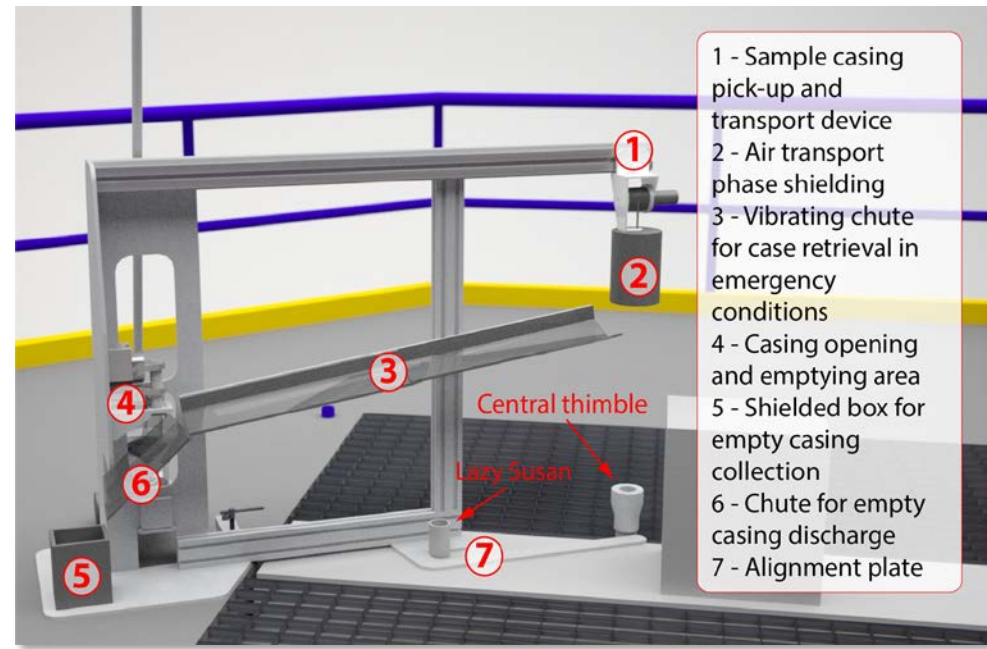
# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

- Modellazione della produzione di  $^{111}\text{Ag}$  tramite irraggiamento di  $^{110}\text{Pd}$  in reattore effettuata con MCNPX-CINDER90, PHITS, FLUKA (100%).
- Progettazione e costruzione di un dispositivo di estrazione dei campioni irraggiati dal CC del TRIGA (70%)
- Irraggiamenti di test di bersagli di  $^{\text{nat}}\text{Pd}$  e  $^{110}\text{Pd}$  arricchito (100%)
- Installazione al LENA del sistema di rivelatori di ISOLPHARM\_EIRA ( $\text{LaBr}_3$ , HPGe) e misura spettroscopica dei campioni irraggiati (100%)
- Caratterizzazione dei contenuti di radioisotopi nei campioni irraggiati e misura delle attività prodotte (70%)



3 gg di irraggiamento in CC di 63 mg di <sup>110</sup>Pd arricchito  
**MCNPX+CINDER90**

3 gg di irraggiamento in CC di 63 mg di <sup>110</sup>Pd arricchito  
**PHITS+DCHAIN**

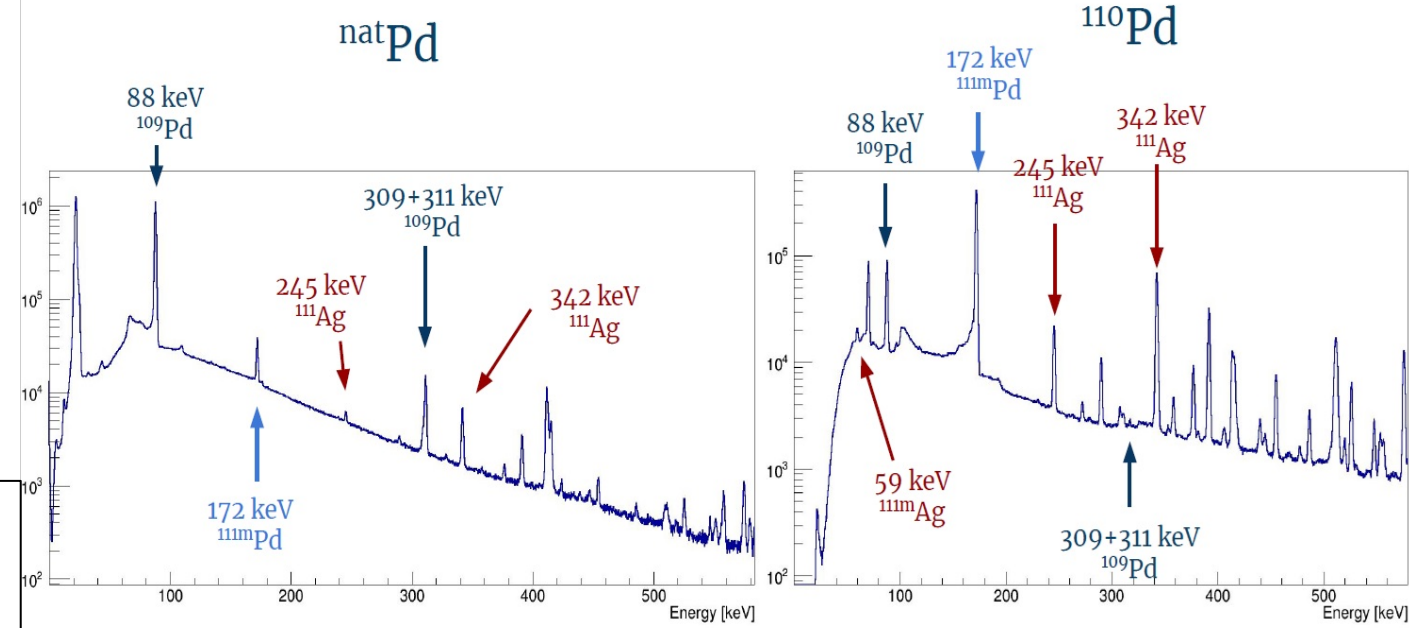


Schema della macchina semiautomatica di estrazione (OSTE)



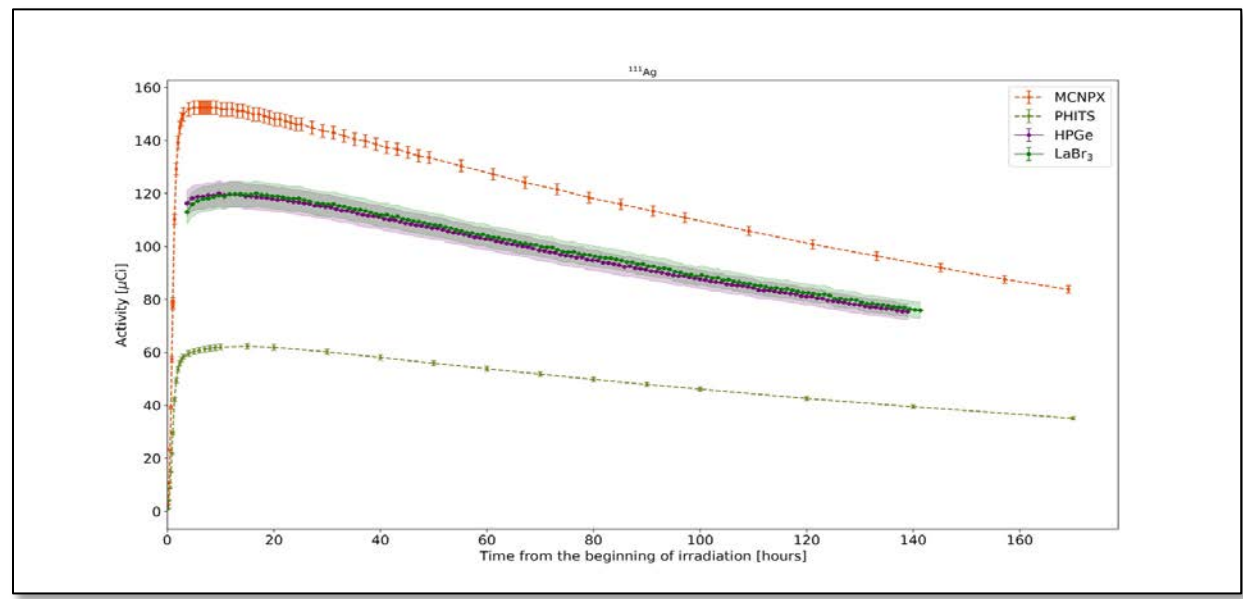
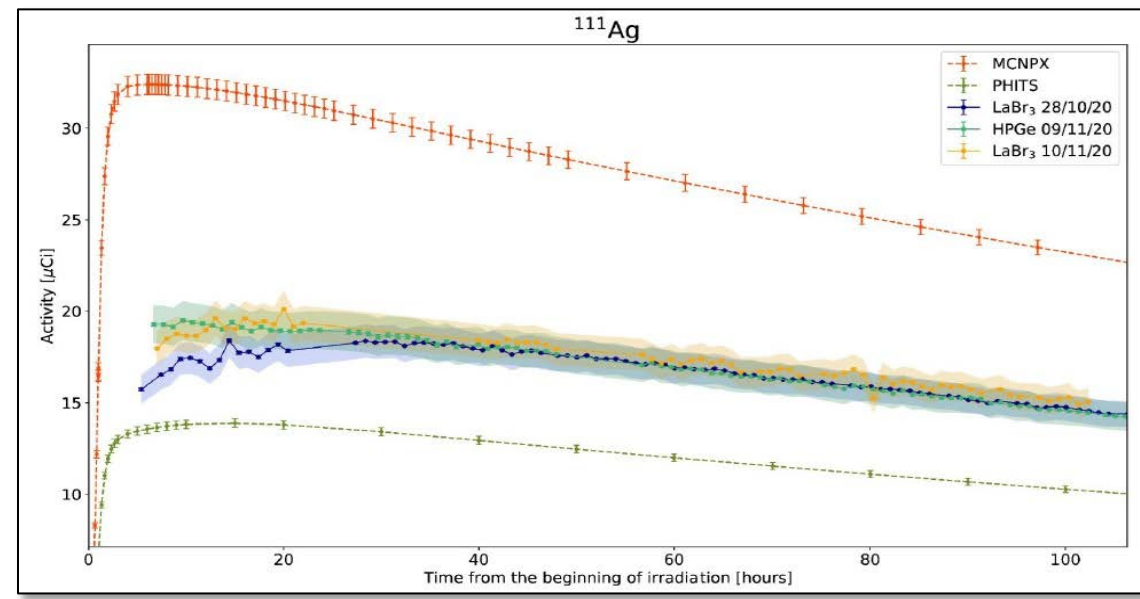
# $^{110}\text{Pd}$ vs $^{\text{nat}}\text{Pd}$ Spectra

6 hours after the end of the irradiation



Un ora di irraggiamento di **100 mg  $^{\text{nat}}\text{Pd}$** . Attività  $^{111}\text{Ag}$   
Misure vs MC

Un ora di irraggiamento di **63 mg  $^{110}\text{Pd}$** . Attività  $^{111}\text{Ag}$   
Misure vs MC



# Publicazioni

- M. Ballan et al., *Preliminary evaluation of the production of non-carrier added  $^{111}\text{Ag}$  as core of a therapeutic radiopharmaceutical in the framework of ISOLPHARM\_Ag experiment*, Applied Radiation and Isotopes 164 (2020) 109258
- M. Ballan et al., *Development of implantation substrates for the collection of radionuclides of medical interest produced via ISOL technique at INFN-LNL*, Accepted for publication on Applied Radiation and Isotopes
- A. Andrighetto et al., *ISOLPHARM\_EIRA: a new approach to create high purity radionuclides for nuclear medicine applications*, Conference SIRR 2020, Cefalù November 2020
- S. Corradetti and A. Andrighetto, *The ISOLPHARM project: Production of High Specific Activity Medical Radioisotopes at SPES*, Nuclear Physics News, Vol. 30, No. 4, 2020
- Altri lavori pubblicati nelle Task2 (Radiochimica) e Task3 (Biologia)

# IT\_STARTS

Progetto Giovani CSN5

an Innovative Toolkit to Simulate neuTron cApture theRapy  
irradiaTion and doSimetry

RL – Ian Postuma

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Pavia

Collaborazione con CNEA-  
Argentina

FTE 2020: 3.5

## Anagrafica:

Ian Postuma (PI)

Silva Bortolussi

Chiara Magni

Setareh Fatemi

Umberto Anselmi Tamburini

Laura Cansolino

Cinzia Ferrari

Patrizia Sommi

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

IT\_STARTS aims at generating an innovative TPS for the simulation of patient irradiation and for the calculation of the dose distribution in BNCT:

1. Import the medical image and transform into a voxelized model, set the irradiation configuration, create an input file for a transport code and the dosimetry analysis tools.
2. Implement Photon Isoeffective dose as a model to express the absorbed dose in photon-equivalent units, using radiobiological data for different tumours and healthy tissues.
3. Integrate a radiobiological module able to compute Tumour Control and Normal Tissue Complication Probabilities developed for BNCT
4. Validation of results using different Monte Carlo codes.

# Risultati 2020 – milestones

- |   |       |
|---|-------|
| • Interface between TPS - MultiCell and PHITS | 100 % |
| • New Radiobiological Data                    | 70 %  |

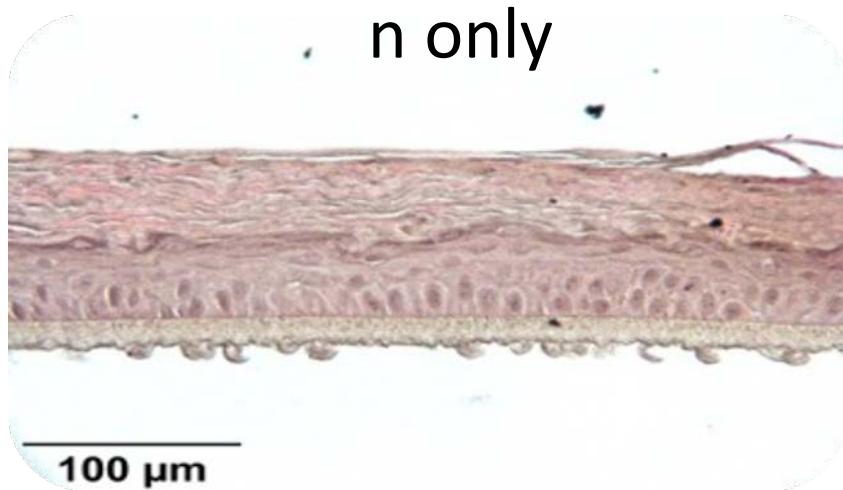
Completed the irradiation with photons of the innovative radiobiological model of cultivated human skin. Analysis ongoing with different essays. Irradiation of U87 human glioblastoma cell line.

Import of the MultiCell in PHITS (bug fixed thanks to the collaboration with the developers met in Argentina). Treatment planning simulation of a patient treated in Finland. Comparison of iso-effective radiobiological model (S. Gonzalez et al.) and the microdosimetric model of biological effectiveness (T. Sato et al.) in a real clinical case.

Detailed computational dosimetry for radiobiological models irradiated in the Thermal Column of the TRIGA reactor and at the X-ray irradiator at the San Matteo Polyclinic

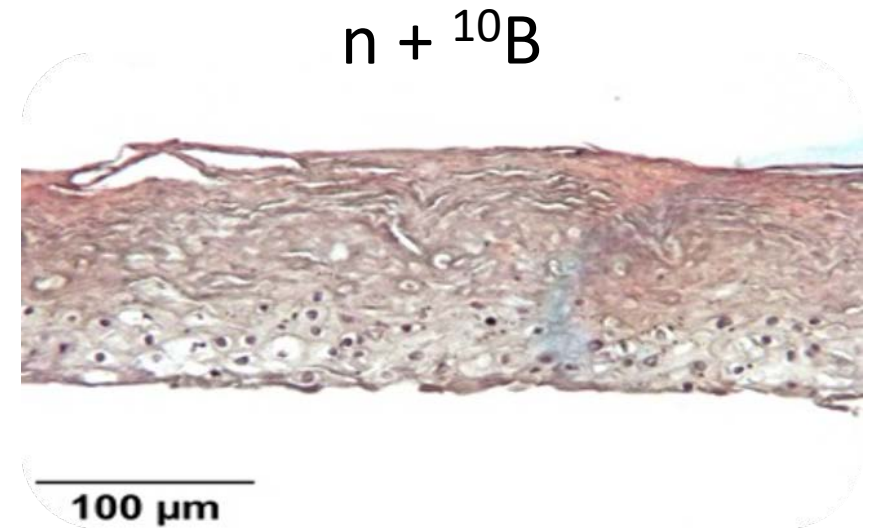
Comparison of parameters for the iso-effective model using detailed and approximated dosimetry

# in-vitro skin tissue irradiation



4 Gy

5 day from irradiation



160 Gy

# Motore Dosimetrico



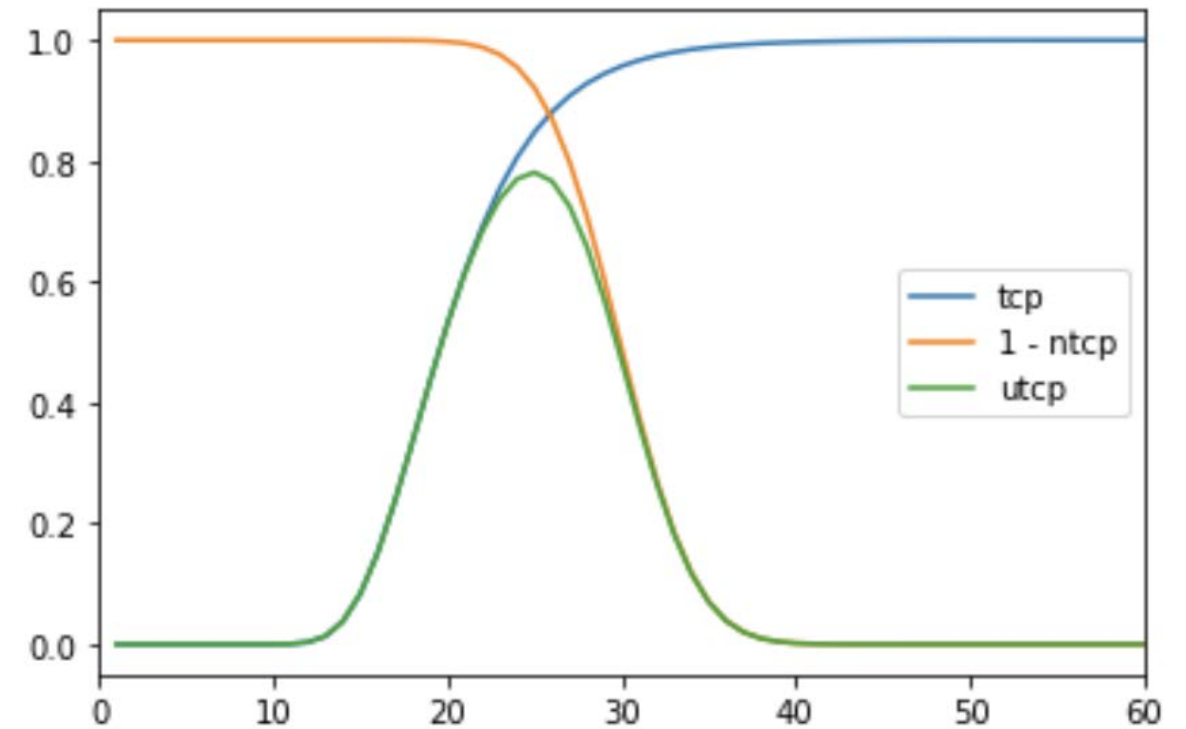
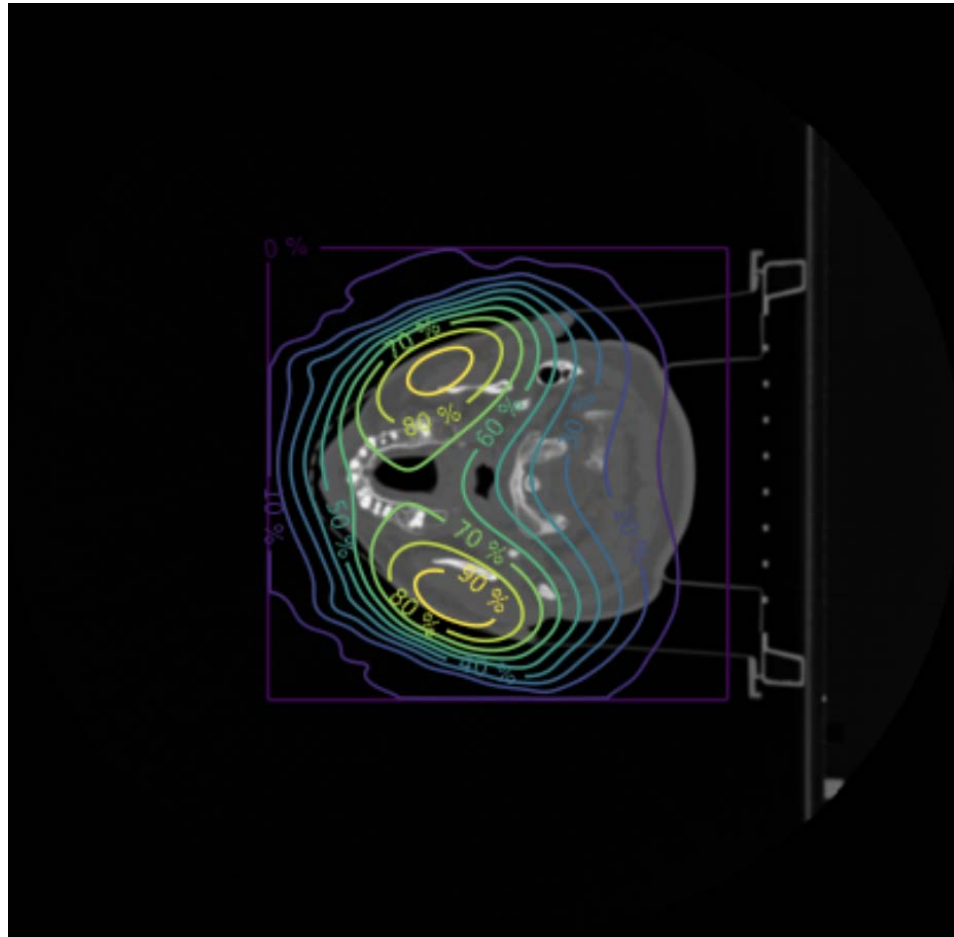
Geometria voxelizzata con tecnica  
MultiCell

Implementata in PHITS

Confronto PHITS + MCNP  
portato a termine



# Dosimetria Isoeffettiva + uso di nuove figure di merito radiobiologiche



# Tesi, talk e pubblicazioni

**Irradiation of reconstructed human skin cultivated in-vitro: computational dosimetry and preliminary radiobiological evaluations for BNCT studies** - Claretta Guidi - 110/110 e lode, June 2020

Postuma et al., **A Novel Approach to Design and Evaluate BNCT Neutron Beams Combining Physical, Radiobiological, and Dosimetric Figures of Merit**, *Biology* (2021) Volume 10 Issue 3

**Modello di cute sana cresciuto in-vitro per valutare il danno da radiazione**, SIRR, online, Nov 2020  
PRIMO PREMIO MIGLIOR TALK UNDER 35

**Design of a Beam Shaping Assembly for Boron Neutron Capture Therapy application**, SIF 2020, Invited



# MC\_INFN

Monte Carlo\_INFN(FLUKA)

RL – Andrea Fontana

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- Bari
- Catania
- Lab. Naz. del Sud
- Milano
- Napoli
- Pisa
- **Pavia**
- Roma I
- Ferrara.DTZ
- Perugia.DTZ
- Roma II.DTZ

## Anagrafica di Pavia

- |                  |    |      |
|------------------|----|------|
| • Ballarini      | PA | 0.3  |
| • Carante        | AR | 0.6  |
| • Ciocca         | FM | 0.2  |
| • Embriaco       | AR | 0.45 |
| • Fontana (R.L.) | RI | 0.4  |
| • Giroletti      | RU | 0.1  |
| • Magro          | RI | 0.2  |
| • Mairani        | RI | 0.2  |
| • Ramos          | AR | 0.05 |

FTE 2020: 2.5

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

Sviluppo e mantenimento del codice montecarlo FLUKA.

Supporto computazionale ad attività sperimentali INFN in diversi ambiti:

- LHC
- Fisica neutrino
- Adroterapia
- Radioisotopi

## Obiettivi di Pavia

- Radiobiologia computazionale:  
applicazione dell'interfaccia tra il modello biofisico **BIANCA** e il codice FLUKA a scenari clinici (100%)
- Radioisotopi:  
supporto teorico/computazionale ai progetti **METRICS** ( $^{52g}\text{Mn}$ ) e **ENSAR2** ( $^{117m}\text{Sn}$ ).

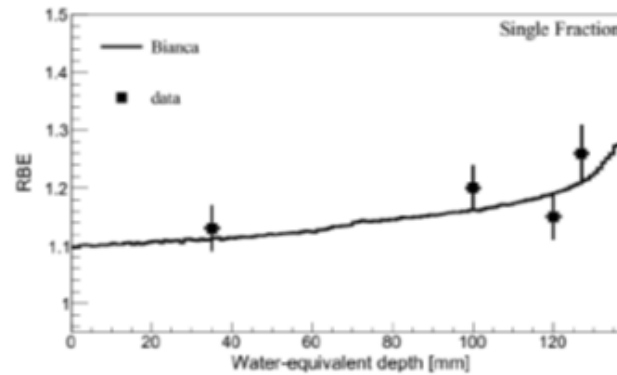
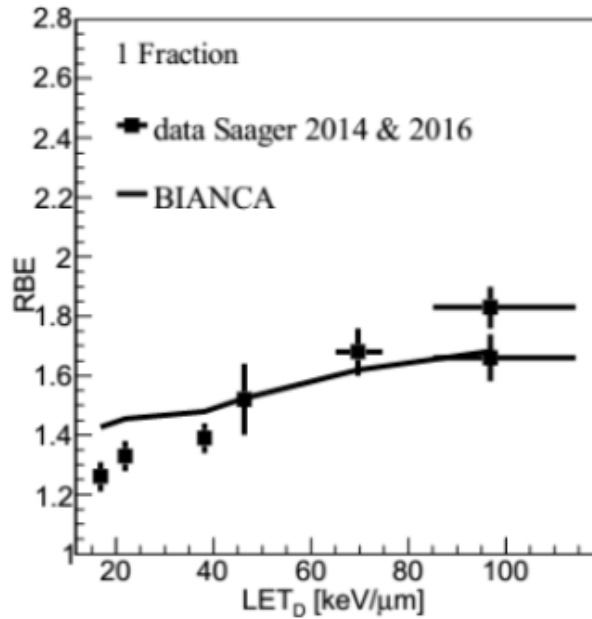
# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

- Milestone **Radiobiologia** 100 %
- Milestone **Radioisotopi** 100 %

- Applicazione dell' interfaccia tra FLUKA e il modello biofisico BIANCA (Biophysical ANalysis of Cell death and chromosome Aberrations) a previsioni di morte cellulare in uno scenario tipico dei trattamenti adroterapici, effettuando previsioni di RBE per irraggiamenti *in vivo*. In particolare è stato previsto l'andamento dell'RBE per ioni carbonio e protoni a seguito di irraggiamento del midollo spinale di roditori.
- Sviluppo di un database radiobiologico in grado di descrivere l'induzione di aberrazioni cromosomiche nei linfociti del sangue, considerate come *biomarkers* del rischio di induzione di danno nei tessuti sani.
- Studi di modellistica nucleare per il calcolo delle sezioni d'urto di radioisotopi innovativi per uso in ambito medicale prodotti nel progetto LARAMED. In particolare, il codice FLUKA è stato utilizzato per studi di produzione di  $^{52g}\text{Mn}$  da targhette di  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{\text{nat}}\text{Cr}$  e  $^{\text{nat}}\text{V}$  e di  $^{117m}\text{Sn}$  da targhette di  $^{\text{nat}}\text{Cd}$  e  $^{\text{nat}}\text{In}$ .

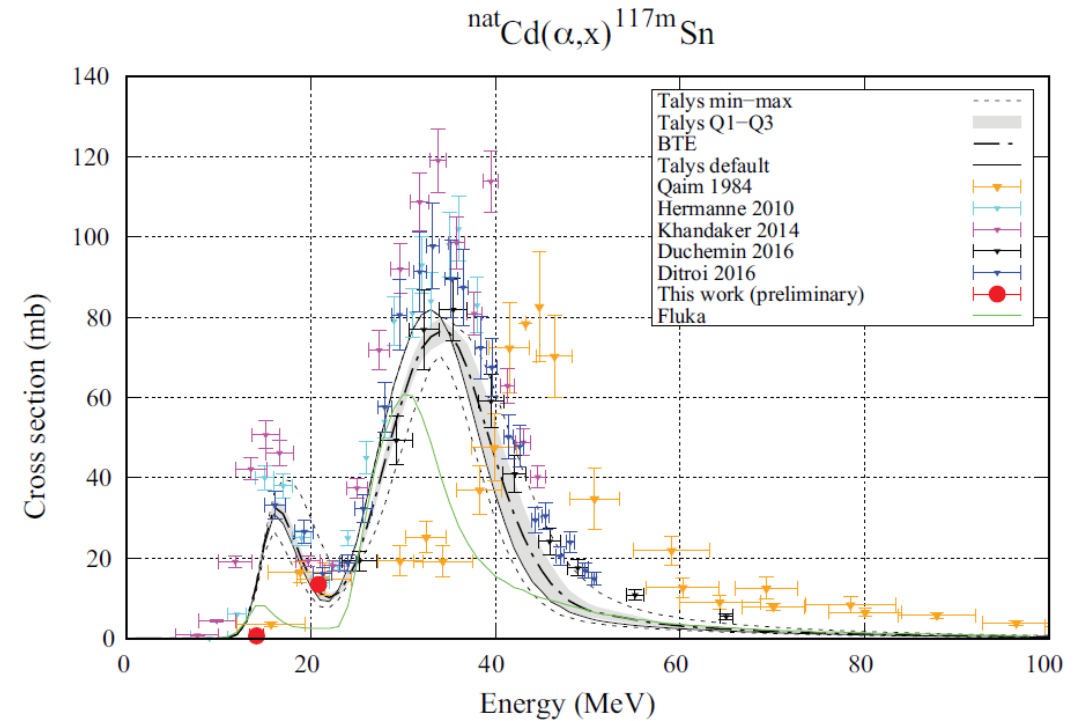
# Risultati

## Radiobiologia computazionale



RBE for the induction of damage in the rat spinal cord; *points=in vivo* data, *lines=model* predictions (*Carante et al. 2000, Int J Mol Sci*)

## Radioisotopi



# Tesi e pubblicazioni

## Papers indexed in Scopus and/or ISI-WoS for 2020

1. Mario P. Carante, Giulia Aricò, Alfredo Ferrari, Christian Karger, Wioletta Kozłowska, Andrea Mairani, Paola Sala and Francesca Ballarini (2020), *In vivo validation of the BIANCA biophysical model: benchmarking against rat spinal cord RBE data*. Int. J. Mol. Sci. 2020, 21(11), 3973
2. Mario P. Carante and Francesca Ballarini (2020), *Radiation damage in biomolecules and cells*. Int. J. Mol. Sci. 2020, 21(21), 8188;
3. M. P. Carante, G. Aricò, A. Embriaco, A. Ferrari, C. Karger, W. Kozłowska, A. Mairani, P. Sala and F. Ballarini, *RBE predictions by the BIANCA model for in vitro and in vivo irradiations in hadron therapy scenarios*. Il Nuovo Cimento C 2020, vol 43, issue 6, 137
4. A. Embriaco, G. Brazzorotto, M.P. Carante, A. Ferrari, A. Mairani, R.L. Ramos, P. Sala and F. Ballarini, *Evaluating normal tissue damage after hadrontherapy by chromosome aberration prediction*. Il Nuovo Cimento C 2020, vol 43 issue 6, 139

## Conference presentations in 2020

1. Mario P. Carante, Giulia Aricò, Alessia Embriaco, Alfredo Ferrari, Christian P. Karger, Wioletta Kozłowska, Andrea Mairani, Paola Sala and Francesca Ballarini, *RBE prediction by the BIANCA model for in vitro and in vivo irradiation by different hadron therapy ion-beams*. 45th Annual Meeting of the European Radiation Research Society (ERRS2020), Lund (Sweden), 13th - 17th September 2020 (online)
2. A. Cicchetti, M. Carante, M. Ciocca, T. Rancati, R. El bezawy, N. Zaffaroni, A. Facoetti, M. Carrara, R. Valdagni, F. Ballarini. *Analysis of radio-induced DNA damage as a tool for driving Monte Carlo simulations of cell survival*, PTCOG 2020 (online)
3. Mario P. Carante, Giulia Aricò, Alessia Embriaco, Alfredo Ferrari, Christian P. Karger, Wioletta Kozłowska, Andrea Mairani, Paola Sala and Francesca Ballarini, *Previsioni di RBE mediante il modello BIANCA a seguito di irraggiamento in vitro e in vivo con diversi fasci adroterapici*. XIX Convegno nazionale SIRR (Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni), 10-12 novembre 2020 (online)
4. Alessia Embriaco, Grazia Brazzorotto, Mario P. Carante, Alfredo Ferrari, Andrea Mairani, Paola Sala and Francesca Ballarini, *PREVISIONE DI DANNI AL TESSUTO SANO PER FASCI ADROTERAPICI MEDIANTE IL MODELLO BIANCA*. XIX Convegno nazionale SIRR (Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni), 10-12 novembre 2020 (online)

**Tesi:** G. Brazzorotto, Tesi Magistrale in Scienze Fisiche, Università di Pavia, luglio 2020  
(Relatore: F. Ballarini; Correlatore: A. Embriaco)

## Papers indexed in Scopus and/or ISI-WoS for 2020

1. Colombi, A., Barbaro, F., Canton, L., Carante, M.P. and Fontana, A., Nuclear reaction modeling of  $^{52}\text{gMn}$  production for multimodal imaging, Nuovo Cimento della Società Italiana di Fisica C, 2020, 43(6), 141
2. Barbaro, F., de Dominicis, L., Canton, L., Fontana, A. and Stolarz, A., Theoretical study for a  $^{117}\text{mSn}$  production experiment with a 30 MeV  $\alpha$ -beam cyclotron, Nuovo Cimento della Società Italiana di Fisica C, 2020, 43(6), 136

## Conference presentations in 2020

1. A. Colombi, F. Barbaro, L. Canton, M. P. Carante and A. Fontana, Nuclear reaction modeling of  $^{52}\text{gMn}$  production for MultiModal Imaging. XIX Convegno nazionale SIRR (Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni), 10-12 novembre 2020 (online)
2. F. Barbaro, L. De Dominicis, L. Canton, M.P. Carante, A. Colombi, A. Fontana and A. Stolarz, Theoretical study for a  $^{117}\text{mSn}$  production experiment with a 30 MeV beam. XIX Convegno nazionale SIRR (Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni), 10-12 novembre 2020 (online)



# METRICS

(Multimodal pET/mRi Imaging with Cyclotron produced  $^{51/52}\text{Mn}$  and stable paramagnetic Mn isotopes)

RL – Andrea Salvini/Andrea Fontana

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- Ferrara
- Lab. Naz. di Legnaro
- Milano
- Padova
- **Pavia**

FTE 2020: 2.0(3.0)

## Anagrafica di Pavia

- Anselmi-Tamburini PA 0.2
- Ballarini PA 0.2
- Carante AR 0.4
- *(Colombi LA 1.0)*
- Fontana (R. Loc.) RI 0.6
- Oddone PA 0.2
- Salvini A. TD 0.15
- Gandini A. TD 0.5

Due nuovi **dottorandi** a Pavia nel 2020 (ciclo XXXVI):

- **Francesca Barbaro** (associata a PD)
- **Alessandro Colombi**

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

find out a chemical compound that can behave at the same time as:

- a **contrast agent** -> having paramagnetic properties  
    ☐ MRI scans
- **radioactive tracer** -> having useful nuclear properties that basically mimic  $^{18}\text{F}$  ☐ PET scans

With the recent achievements in PET/MRI scanner technology, **radio-manganese** (i.e.  $^{52g/51}\text{Mn}$ ) and **manganese compounds** may enable future dual modal imaging techniques, having both properties for MRI and PET.

Investigation of possible production routes by using medium /low-energy cyclotron (40-10 MeV) e.g. SPES cyclotron:  
 $\text{Cr}52(\text{p},\text{n})$ ,  $\text{Cr}53(\text{p},2\text{n})$ ,  $\text{Cr}54(\text{p},3\text{n})$ ,  $\text{Cr}52(\text{d},2\text{n})$ ,  $\text{Fe}56(\text{p},\text{an})$ ,  
 $\text{Fe}56(\text{d},\text{a}2\text{n})$ ,  $\text{Fe}54(\text{d},\text{a})$ ,  $\text{Fe}54(\text{p},\text{He}3)$ ...

## Obiettivi di Pavia

- **Modellistica** reazioni nucleari (collaborazione con L. Canton INFN-PD) con codici di calcolo stato dell'arte: Talys, Empire, Fluka.
- Studi di **radiochimica** (in collaborazione con LENA/UniFE): separazione Mn/Cr e recupero materiali targhette arricchite
- **Sinterizzatore** per produzione targhette (in collaborazione con Dip. Chimica/Officina INFN): produzione di targhette per il progetto LARAMED a LNL.

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

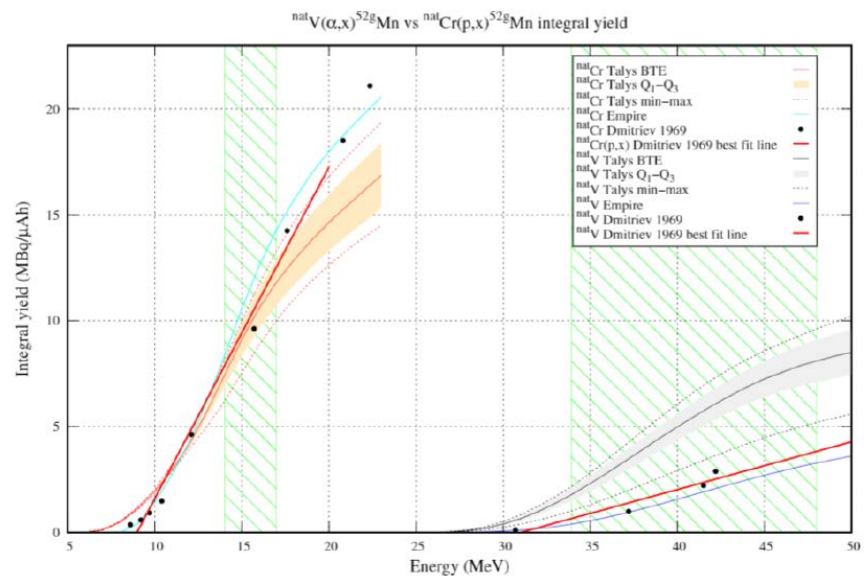
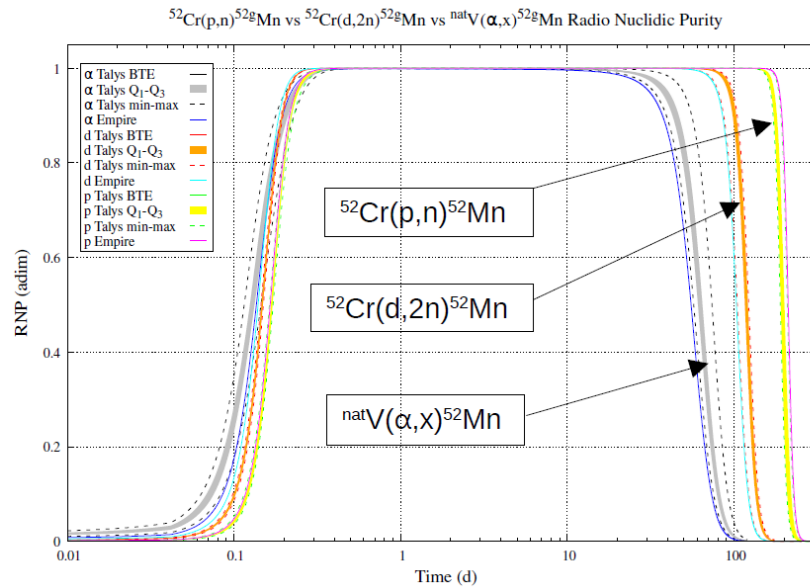
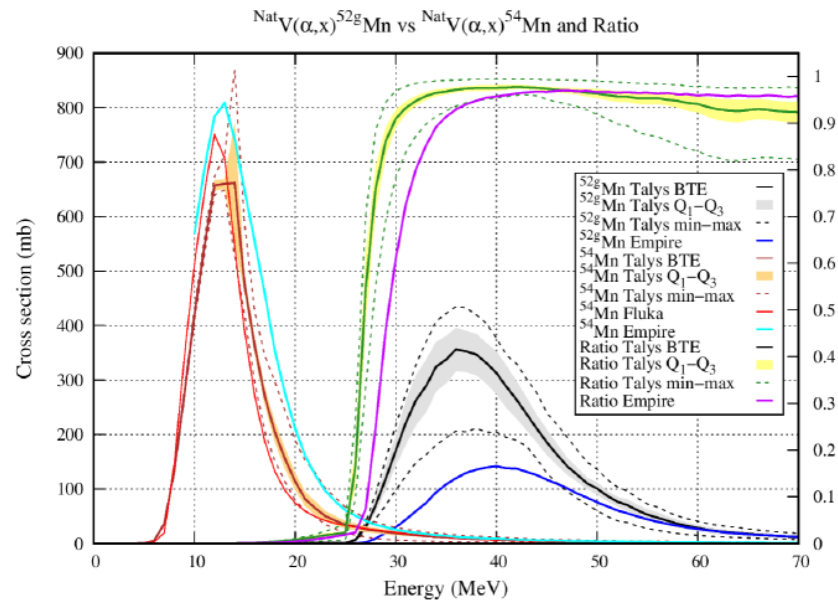
- Modellistica 100%
- Radiochimica 80%
- Sinterizzazione 80%

*Estensione del Progetto al 2021  
a causa del lockdown*

- Completata **attività' teorico/computazionale**, con individuazione di una possibile nuova via di produzione ( $^{nat}\text{V}(\alpha, x)^{52g}\text{Mn}$ );
- Avvio di studi di **dosimetria computazionale** in collaborazione con UniPD;
- Primi test di **irraggiamento targhette** Cr-Nb al ciclotrone dell' Ospedale don Calabria - Negrar (VR): **trasporto** (durante lockdown) targhette al LENA per studi di radiochimica;
- Realizzazione colonna di separazione automatica Mn/Cr presso LENA e completamento primi studi per **radiochimica** e recupero materiali targhette;
- Realizzazione del **sinterizzatore** presso officina INFN (Tests e trasporto a LNL nei prossimi mesi). Sarà utilizzato anche per LARAMED.

# Risultati

## Confronto tra yields e purezze per reazioni di produzione di $^{52g}\text{Mn}$



Reaction [ $E_i$ - $E_o$ ] (MeV)

Yield:  $y(E_i)$ - $y(E_o)$  (MBq/ $\mu\text{Ah}$ )

|   | Talys            | Empire | RYC   | Data fit or interpolation |
|---|------------------|--------|-------|---------------------------|
| $^{nat}\text{V}(\alpha,x)^{52g}\text{Mn}$ [48-33.9] | $6.28 \pm 1.27$  | 2.88   | 5.57  | 3.17 [1]                  |
| $^{nat}\text{Cr}(p,x)^{52g}\text{Mn}$ [17-14]       | $4.41 \pm 0.51$  | 5.98   | 4.28  | 5.52 [1]                  |
| $^{52}\text{Cr}(p,n)^{52g}\text{Mn}$ [17-14]        | $6.64 \pm 1.73$  | 7.06   | 4.75  | 6.47 [2]                  |
| $^{52}\text{Cr}(d,2n)^{52g}\text{Mn}$ [20-15.5]     | $12.00 \pm 0.63$ | 10.09  | 14.43 | 12.14 [2]                 |

# Tesi e pubblicazioni

## Tesi magistrale UniPV

*Nuclear reaction modeling of  $^{52g}\text{Mn}$  production for MultiModal Imaging applications*

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN FISICA, UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Data di iscrizione al Corso di LAUREA : 2017

Data conseguimento del Titolo: 27 aprile 2020

Relatore: Dr. Andrea Fontana

Correlatore: Dr. Mario Pietro Carante

Laureando: **Alessandro Colombi**

## Pubblicazioni

### LNL report 2020

- F. Barbaro et al., *Advancements of  $^{52g}\text{Mn}$  Production for Multi-Modal Imaging: Comparison of Production Routes with Natural Chromium and Vanadium Targets*

## Abstract congressi

### SIRR, Congresso Nazionale, 10-12 Novembre 2020, online:

- A. Colombi et al., *Nuclear reaction modeling of  $^{52g}\text{Mn}$  production for MultiModal Imaging* (poster)
- F. Barbaro et al., *Theoretical study for a  $^{117m}\text{Sn}$  production experiment with a 30 MeV beam* (poster)

# NEPTUNE

Call CSN5

Nuclear process-driven Enhancement of Proton Therapy  
UNravEled

RL – Silva Bortolussi

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- LNS
- LNL
- MI
- PV
- NA
- TIFPA
- ROMA 1
- ROMA 3

## Anagrafica di Pavia:

- Altieri Saverio
- Ballarini Francesca
- Bortolussi Silva
- Cansolino Laura
- Ciocca Mario
- Facchetti Angelica
- Ferrari Cinzia
- Postuma Ian
- Vercesi Valerio

FTE 2020: 1.9



# Goal del progetto

## Obiettivi generali

Scopo del progetto NEPTUNE è quello di investigare nuove tecniche binarie per aumentare l'efficacia biologica della protonterapia pur mantenendo inalterata l'elevata capacità conformazione e l'alta precisione balistica. Nell'ambito del progetto si studiano dal punto di vista radiobiologico e microdosimetrico le due reazioni p-11B e p-19F che portano all'emissione all'interno dei tessuti di particelle alpha ad alto LET. I risultati sperimentali verranno corredati di un nuovo modello radiobiologico che tenga conto dell'emissione di particelle secondarie durante un trattamento di protonterapia.

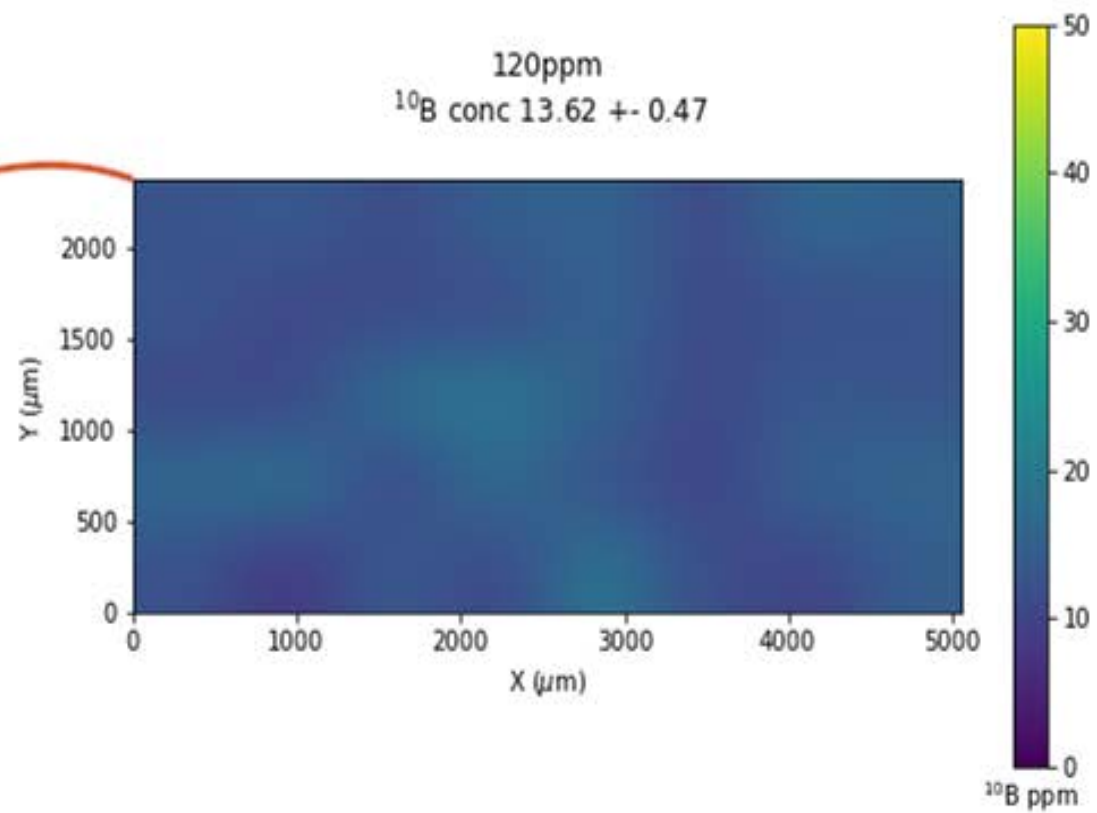
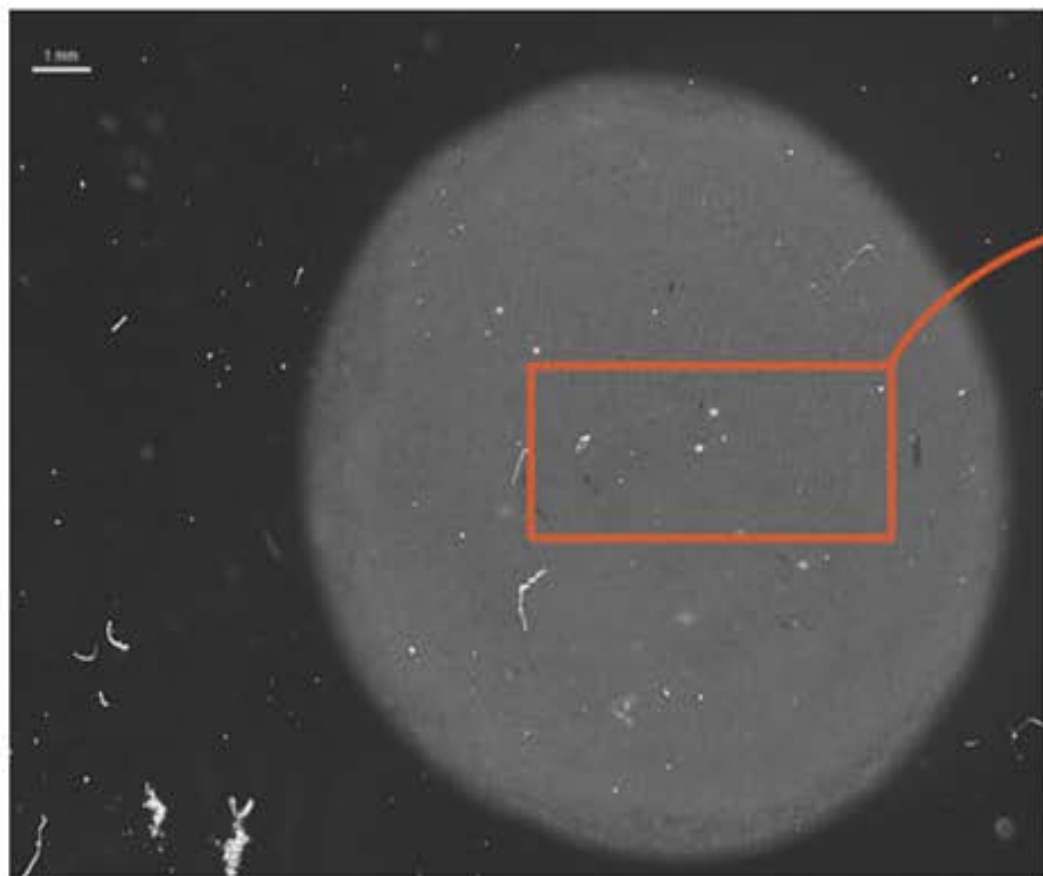
## Obiettivi di Pavia

- Misura della concentrazione di boro in colture cellulari di tumore del pancreas (PANC-1) trattate con diverse sostanze borate
- Preparazione delle colture cellulari per la misura del boro prima dell'irraggiamento con protoni
- Studio dell'efficacia della BNCT sulla stessa linea cellulare e con lo stesso trattamento
- Studio dell'uptake del boro utilizzando  $^{19}\text{F}$ -BPA per confronto con misure MRI condotte a Roma<sup>1</sup> e misure di metabolomica condotte a Caserta

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

- Establishment of a procedure for the measurement of borated and fluorinated compounds in in-vitro tests 100%
- Results on high-LET radiation induced CL as effector of proton biological enhancement by p-B and p-F reactions.  
+ cell survival studies with BNCT 75%

- Sono stati condotti esperimenti di misura del boro in colture di PANC-1 trattate con BPA a diverse concentrazioni e con  $^{19}\text{F}$ -BPA. A Pavia: quantificazione e imaging della distribuzione del boro. Confronto con risultati di Caserta in ottimo accordo
- Si sono irraggiate colture di PANC-1 trattate con BPA nella CT del reattore TRIGA per costruzione di curve dose-effetto dovute a BNCT e a irraggiamento con soli neutroni



# Tesi e pubblicazioni

Tesi Triennale in Biotecnologie, Carla Panaro, Settembre 2020:

MISURE DI CONCENTRAZIONE INTRACELLULARE DEL B11 PER LA CATTURA PROTONICA IN BORO



# PROTHYP

Combined Proton Therapy and Magnetic Fluid Hyperthermia  
for Pancreatic Cancer Treatment

RL – Manuel Mariani

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Pavia

Milano

Roma3

## Anagrafica di Pavia:

RL- Manuel Mariani – RU 0.3

RN - Alessandro Lascialfari - PO 0.4

Davide Cicolari – PhD 0.3

Lisa Rinaldi – PhD 0.3

Francesca Brero – Postdoc 0.3

Marta Filibian – Tecnico D 0.1

## Università e Istituzioni coinvolte in Italia :

- Università degli Studi di Pavia, c/o Dip. Fisica, Via Bassi 6, Pavia
- Università degli Studi di Milano c/o Dip. Fisica, Via Celoria 16, Milano and c/o LASA laboratory, Via F.lli Cervi 201, Segrate (MI)
- Università degli Studi Roma3, Dip.Scienze, Viale Marconi 446, Roma
- CNR-ICCOM and Università degli studi di Firenze, Dip.to di Chimica, Sesto F.no (FI)
- CNAO foundation, Str. Campeggi, 53, Pavia
- Istituto Nazionale dei Tumori, Via Venezian 1, Milano (not during 2020)

**FTE 2020 - PV: 1.7**

**FTE 2020 – tot : 7.2**

# Goals del progetto

## Obiettivi generali

1) Terapia per il tumore al pancreas: studio della possibile azione cooperativa della Proton Therapy (PT) e della Hyperthermia (Hyp) o Magnetic Fluid Hyperthermia (MFH); focus su colture di cellule BxPc3 di tumore al pancreas, trattate per mezzo di esperimenti PT+MFH/Hyp e di fotoni+MFH/Hyp

## Finalità più specifiche:

- Sintesi e caratterizzazione di Nanoparticelle Magnetiche (MNPs). Ottimizzazione
- Colture cellulari ed uptake
- Terapie combinate
- Sopravvivenza clonogenica e Double Strand Breaks (DSB)

## Obiettivi di Pavia

- Caratterizzazione NMR e magnetica
- Esperimenti presso il CNAO: PT + Hyp
- Collaborazione con le altre Unità

# Risultati 2020 – Milestones (Pavia)

| Data       | Descrizione   | %   |
|------------|---|-----|
| 31-03-2020 | Processo di sintesi/caratterizzazione di nanoparticelle magnetiche per vari esperimenti (proprietà magnetiche quali: $M_s$ , $H_c$ , $M_r$ , $T_1$ , $T_2$ ; radiotraccianti, SEM+CLSM+ICP, AFM, DLS, etc). Migliori MNPs in termini di dimensioni, ricoprimento, SAR (> 60 W/g di Fe). | 100 |
| 31-07-2020 | Fine dei primi due (M2, M4) esperimenti di irraggiamento delle cellule di tumore al pancreas con protoni combinati (o no) con Magnetic Hyperthermia (tre differenti protocolli).  | 100 |
| 31-12-2020 | Risultati di 3 or 4 esperimenti di sopravvivenza clonogenica, cinetica di DSB-rejoining and Apoptosi (CS vs dose D and DNA-double-strand-breaks vs curve di dose), per le cellule di tumore pancreatico trattate.   | 50  |

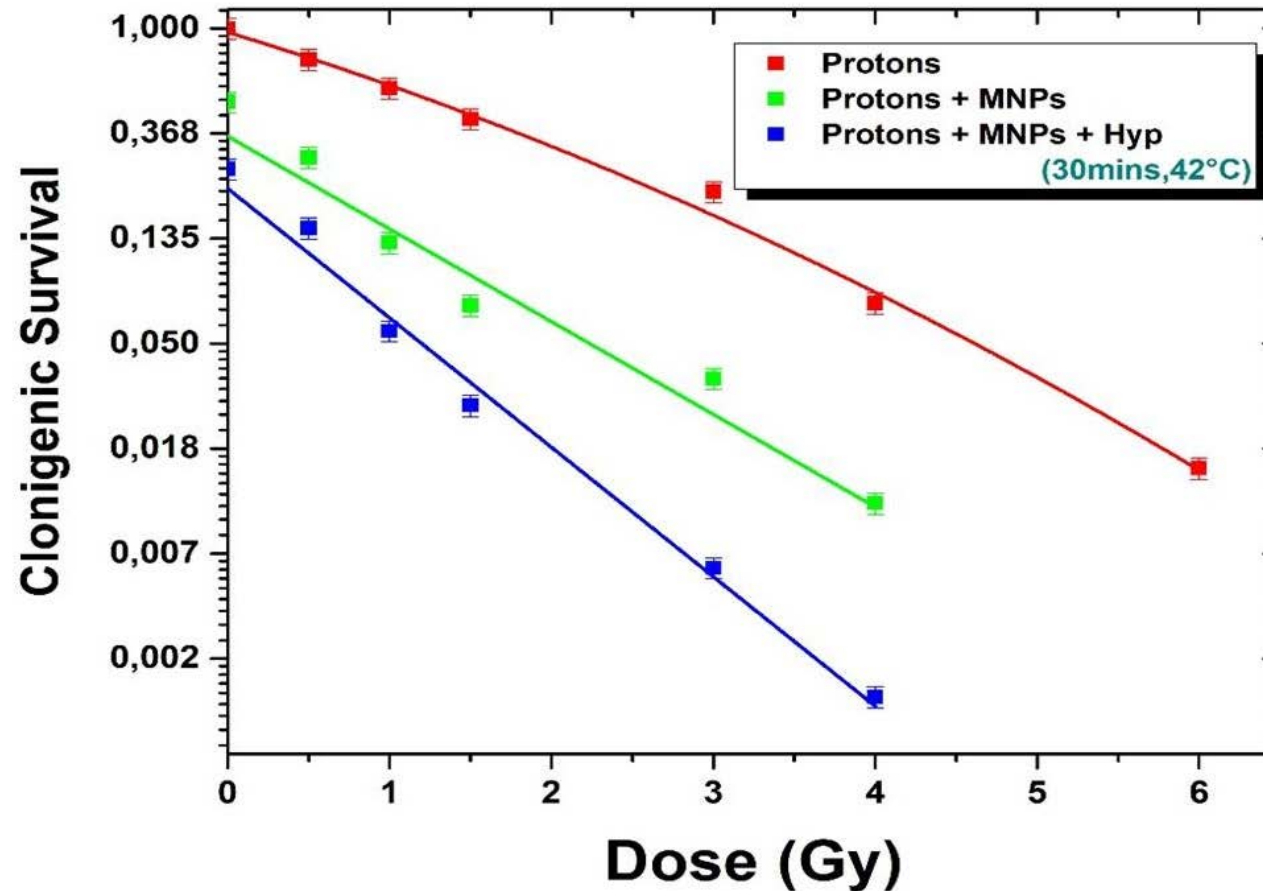


# Risultati 2020 – (Nazionali)

I primi risultati *in-vitro*, su una possibile azione cooperativa di HT (protoni) e MFH, nel caso della linea BxPC3 di cellule tumorali del pancreas, sono stati ottenuti. Le principali attività che hanno coinvolto la Fisica nella caratterizzazione, nella raccolta dei dati e nell'analisi sono state:

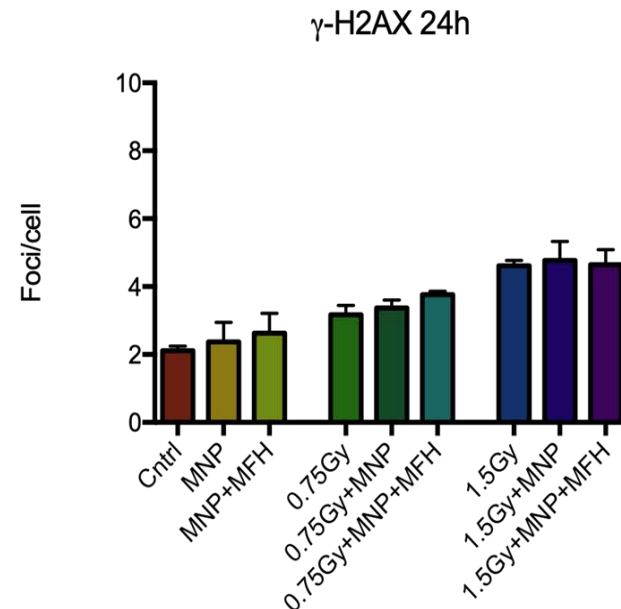
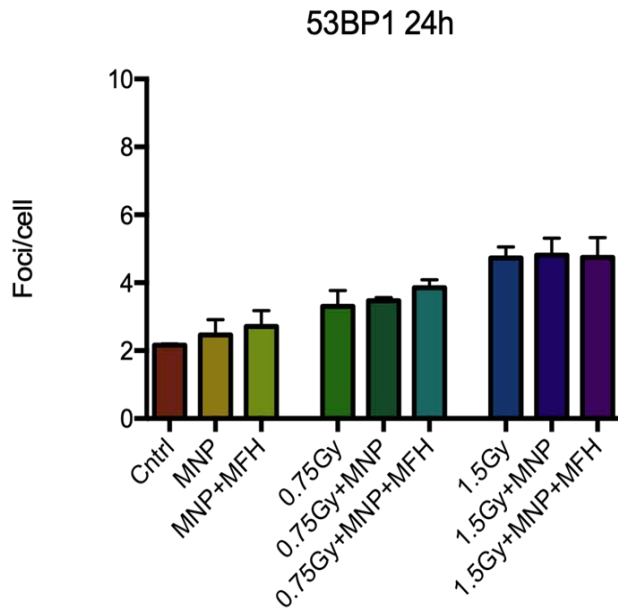
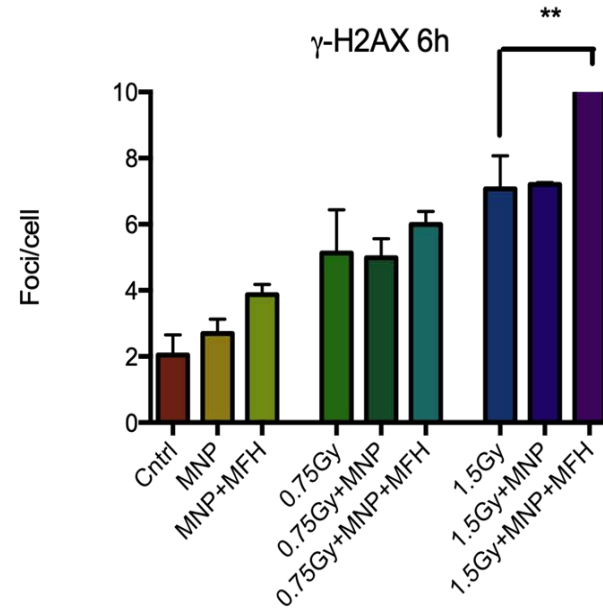
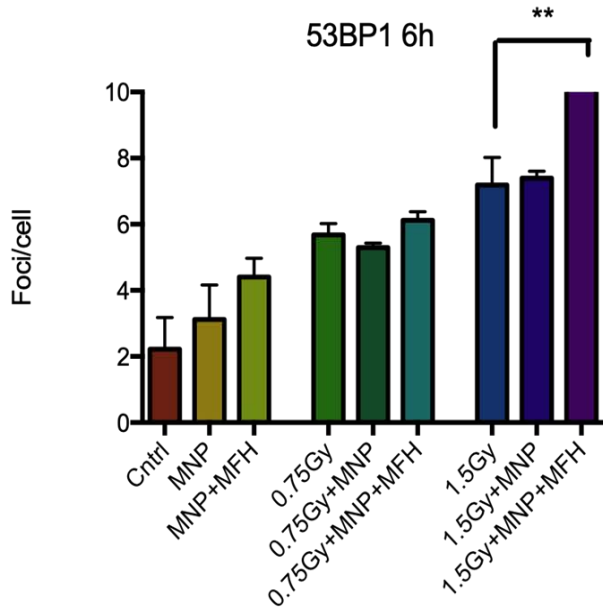
- **sintesi, caratterizzazione strutturale e magnetica di MNPs** a base di maghemite ricoperte con acido dimercaptosuccinico (DMSA), possibilmente riproducenti quelle altamente performanti di Hadromag. Le MNPs hanno mostrato una dimensione media di 14-19nm (dal TEM) e di possedere proprietà superparamagnetiche **(PV,MI,CNR-FI)**
- **proprietà di rilascio di calore delle MNPs**: il ferrofluido di MNPs ha mostrato un alto valore della SAR (80-140 W/g), ottenuto quando esposto ad un campo magnetico alternato clinico  $H_{ac}$  (100 kHz e circa 10-15 kA/m). **(PV e MI)**
- **primi studi di uptake con metodi ottici**: l'uptake di MNPs è avvenuto con successo; è stato valutato determinando la quantità di ferro usando la spettroscopia ICP-OE. **(MI, in collaborazione con PV)**
- **primi test di citotossicità e di sopravvivenza clonogenica** sono stati effettuati. Misure di DNA double-strand breaks (DSBs) sono state eseguite dopo l'irraggiamento delle cellule BxPC3 con fotoni/protoni. **(MI e RM3)**
- **dati sperimentali legati all'effetto dell'irraggiamento con protoni (PT) sulle cellule BxPC3 incubate con MNPs, combinato (o no) con MFH/Hyp**, sono stati ottenuti. Come indicato dalle curve di sopravvivenza, il trattamento combinato (PT + MFH/Hyp) ha raggiunto la migliore performance a tutte le dosi di protoni in termini di sopravvivenza clonogenica delle cellule **(MI, PV e RM3)**

# Sopravvivenza Clonogenica



*Sopravvivenza Clonogenica delle cellule BxPC3 incubate con o senza MNPs, irraggiate con protoni e (non) combinate con MFH. Le linee continue rappresentano il best fit delle curve di sopravvivenza in funzione della dose di radiazione. I risultati mostrati sono la media di due esperimenti indipendenti (Ottobre 2019 e Febbraio 2020).*

# Double Strand Breaks



*Analisi di induzione di focolai di 53BP1 e  $\gamma$ -H2AX dopo 6 e 24 ore dall'esposizione a 0.75 e 1.5 Gy di protoni in combinazione con MFH in cellule BxPC3 di tumore al pancreas; "NP" indica le nanoparticelle magnetiche. I risultati mostrati sono la media su due esperimenti.*

# Tesi e Pubblicazioni

| Titolo  | Autore                    | Tipo | Univ.                 | Sez. | Relatori                      |
|---|---------------------------|------|-----------------------|------|-------------------------------|
| 1 <a href="#">Analisi in vitro dell'azione combinata di adroterapia e ipertermia mag...</a> | Cavaiani Marco            | S    | Politecnico Di Milano | PV   | Marta Tunesi et al.           |
| 2 <a href="#">Caratterizzazione di nanoparticelle super-paramagnetiche per l'iperter...</a> | Vasquez Mora Monica Setia | T    | Universita' Di Milano | MI   | Ivan Veronese et al.          |
| 3 <a href="#">Effects of magnetic nanoparticles correlation times and aspect ratio o...</a> | ✓ Avolio Matteo           | D    | Universita' Di Pavia  | PV   | Alessandro Lascialfari et al. |
| 4 <a href="#">EFFETTO BOLD E INDAGINE f-MRI IN PATOLOGIE CEREBRALI</a>                      | Robustelli Test Agnese    | T    | Universita' Di Pavia  | PV   | Alessandro Lascialfari et al. |
| 5 <a href="#">Studio sull'efficacia di trattamenti combinati di adroterapia ed ipert...</a> | Ronci Giuseppe            | S    | Universita' Di Milano | MI   | Daniela Bettega et al.        |

| Autori |                  | Titolo  | Rivista             | Anno | Tot | INFN | % | IF  | Fraz.IF | Cit.     |
|--------|------------------|---|---------------------|------|-----|------|---|-----|---------|----------|
| 1.     | Brero, F et al.  | <a href="#">Coating Effect on the H-1-NMR Relaxation Properties of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles</a><br>WOS:000581817800001   10.3390/nano10091660  | NANOMATERIALS-BASEL | 2020 | 14  | 0    | 0 | 0.1 | 0       | (/)      |
| 2.     | Brero, F et al.  | <a href="#">Hadron Therapy, Magnetic Nanoparticles and Hyperthermia: A Promising Combined Tool for Pancreatic Cancer Treatment</a><br>WOS:000586250100001   10.3390/nano10101919                                      | NANOMATERIALS-BASEL | 2020 | 25  | 1    | 4 | 0.1 | 0       | 7<br>(/) |
| 3.     | Basini, M et al. | <a href="#">Low-temperature anomalies in muon spin relaxation of solid and hollow gamma-Fe2O3 nanoparticles: A pathway to detect unusual local spin dynamics</a><br>WOS:000590407700005   10.1103/PhysRevB.102.195424 | PHYS REV B          | 2020 | 16  | 0    | 0 | 0.1 | 0       | (/)      |

# SPEYE

Silicon Photomultiplier for EYE

RL – Paolo Walter Cattaneo

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Pavia

Genova

## Anagrafica di Pavia

Paolo W. Cattaneo PR (INFN Pavia) 20%

Andrea Rappoldi PT (INFN Pavia) 20%

Ilaria Cristiani PA (Uni Pavia Ing.) 30%

Piero Malcovati PO (Uni Pavia Ing.) 30%

Paolo Minzioni RU (Uni Pavia Ing.) 30%

Stefano Ramat PO (Uni Pavia Ing.) 30%

Gerardo Biella PO (Uni Pavia Fisiol.) 30%

Mauro Toselli PO (Uni Pavia Fisiol.) 30%

FTE 2020: 2.1(PV) + 0.3 (GE)

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

L'obiettivo dell'esperimento è il progetto e il sviluppo a livello di prototipo di una protesi visuale basata su SiPMs per restituire la visione alle persone rese non vedenti da danni alla retina.

Il prototipo dovrà essere testato su retine animali ed eventualmente su animali vivi.

## Obiettivi di Pavia

- Sviluppo del circuito di alimentazione remoto
- Sistema di caratterizzazione dei SiPM in aria e soluzione fisiologica
- Simulazione e misure del campo elettrico in aria e soluzione fisiologica
- Risposta di cellule e retina a stimoli da micro electrode array (MEA)
- Progettazione di SiPM custom adattati allo scopo
- Risposta di retine ai SiPM

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

|   |      |
|---|------|
| • Calcolo e misura campo elettrico SiPM in aria | 60 % |
| • Test SiPM in soluzione fisiologica            | 40 % |
| • Progetto preliminare circuito alimentazione   | 50%  |
| • Realizzazione della pagina Web                | 95%  |

- Calcolo effettuato con espressioni analitiche approssimate e simulazioni più accurate con il programma COMSOL
- Approntata la strumentazione per la misura in fisiologica. Selezionato il materiale PDMS per l'isolamento delle parti conduttive
- Progetto pressochè completo, alcuni componenti vanno dimensionati a tal fine servono alcune misure
- Pagina realizzata su google. Pianificato lo spostamento su un server INFN



Firefox Web Browser mag 19 17:02:47

Corriere della Sera - News x la Repubblica - News x Google Calendar - m x PSD Pavia for HERD x PETTOF - Online LaTe x Facebook x (9) Battiato live colle x (9) Franco Battiato-La x SPeye x

https://speye.unipv.it/home

Fronte Sovranista Italiano

# SPeye

Sviluppo di una protesi retinica basata su fotomoltiplicatori in silicio  
progetto finanziato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

## Una nuova retina artificiale

Diverse malattie degenerative della retina a base genetica sono causa della cecità totale o parziale di circa un individuo su 4000 al di persone.

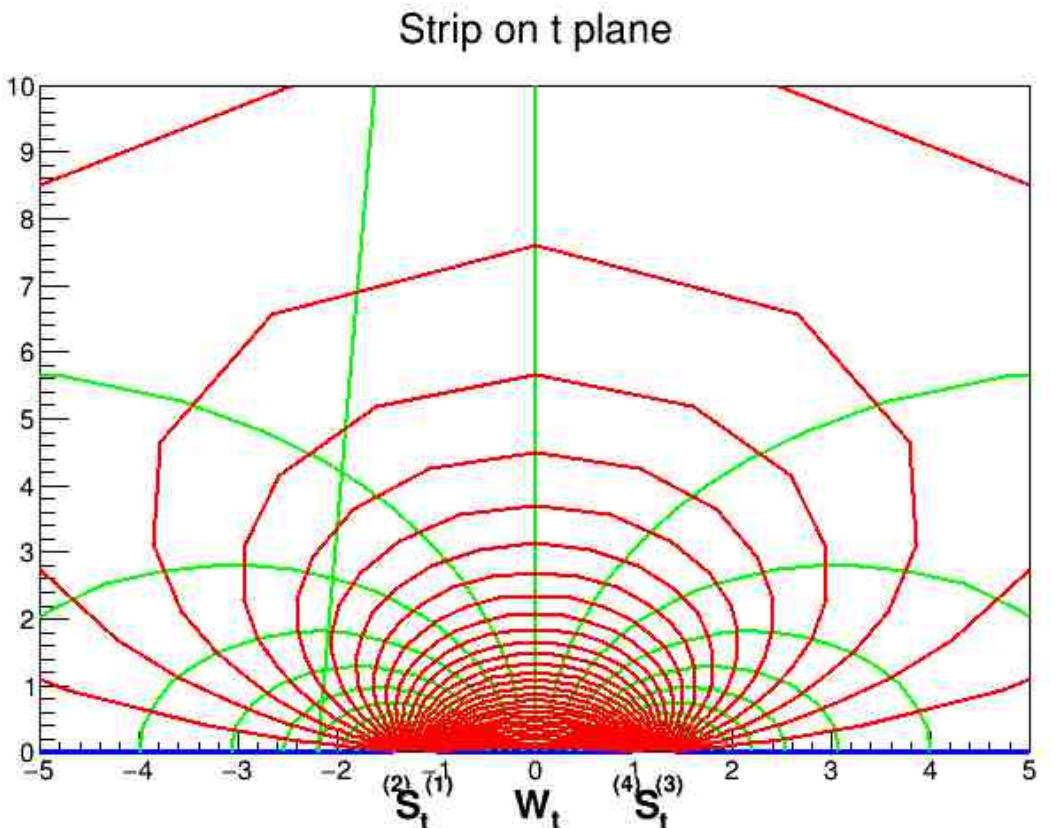
Queste malattie non hanno cure e l'unica possibilità di migliorare la qualità della vita delle persone è fornire protesi visive capaci di. Diversi progetti sono stati sviluppati negli ultimi 20 anni, alcuni sono arrivati allo stadio di test clinico su pazienti ed un commercialmente.

SPeye propone un approccio innovativo basato sull'impianto subretinico di un array di rivelatori al silicio con amplificazion fotomoltiplicatori in silicio (silicon PM o SPAD). Questi dispositivi permetteranno di ottenere migliori prestazioni visive con ridotto co diversi vantaggi nello stadio finale di impianto.

### Contatti

Coordinatore del progetto: Dott. Paolo Walter Cattaneo

Calcolo analitico approssimato del campo dovuto a un cella



# Tesi e pubblicazioni 2020/2021

Realizzazione di protesi visive subretiniche per mezzo di fotorivelatori silicon photomultiplier

Martina Boiardi, Laurea Triennale ingegneria 2020

Sistema Laser per l'Eccitazione di Singoli Pixel in una Matrice di Sensori per Protesi Retinica

Silvia Lascalea, Laurea Triennale ingegneria 2020

Sistemi di retina artificiale: dalle protesi a stimolazione elettrica alla retina liquida

Virginia Colla, Laurea Triennale ingegneria 2021

Titolo da definire

Eriza Dalipi - Laurea magistrale ingegneria 2021



# CHNET\_NICHE

Cultural Heritage Network - Neutron Imaging for Cultural HEritage

RL – Daniele Alloni

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Pavia  
Firenze  
Torino  
Milano Bicocca  
Bologna

FTE 2020: 1.2

## Anagrafica di Pavia

Daniele Alloni **RL**

Barbara Smilgys

Prata Michele

Massimo Oddone

Nicoletta Protti

Salvini Andrea

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

**Imaging con neutroni:** informazioni complementari a quelle che si ottengono con le tecniche più comunemente adottate e diffuse (IBA, XRF, Tomografia X, etc), tramite **analisi diagnostica morfologica non distruttiva**

- **Obiettivo**: sviluppo e ottimizzazione di un sistema per imaging e tomografia con neutroni termici preso il reattore del LENA di Pavia
- valorizzare al massimo la linea di fascio disponibile al reattore TRIGA (attualmente impiegata per la PGNAA dell'esperimento CHNet\_TANDEM) realizzando la prima facility di **radiografia e tomografia neutronica** in Italia utilizzabile anche da utenti esterni e dedicata ad analisi nel campo dei beni culturali
- integrare la strumentazione di diagnostica già patrimonio della rete CHNet per i Beni Culturali CHNet, con la nuova facility di *neutron imaging*, ampliando il ventaglio delle tecnologie e delle attrezzature a disposizione

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

Ritardo di 10-12 mesi a seguito delle limitazioni agli spostamenti dovute alla situazione COVID-19

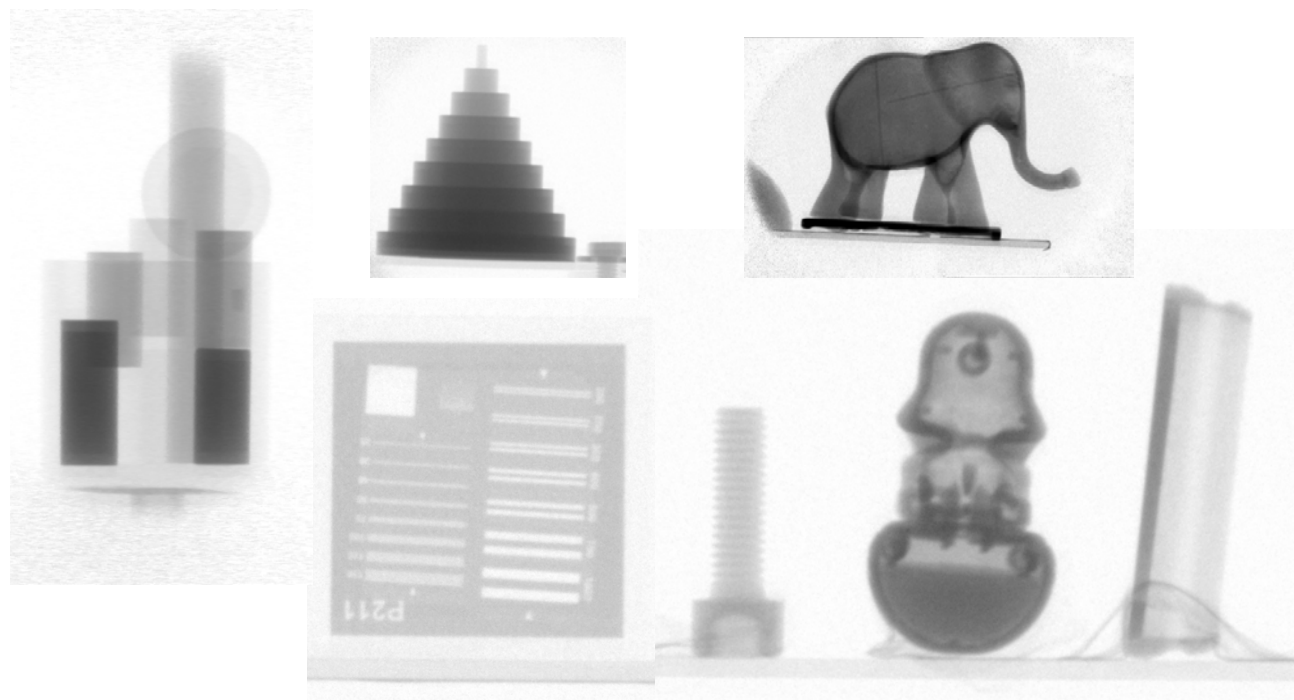
Recupero delle attività arretrate mediante lo svolgimento di n. 4 campagne di misura di 4 giorni ciascuna nei mesi di aprile e maggio 2021

- **Milestone 1 (mese 6):** simulazioni e messa a punto di un sistema di misura preliminare (FI e PV) – *rinviata causa Covid19 a settembre/ottobre* • 100 % (2020)
- **Milestone 2 (mese 12):** test sperimentali (FI, TO, PV) e ottimizzazione del sistema di misura, caratterizzazione preliminare della nuova facility e parametrizzazione delle leggi empiriche per l'attenuazione (FI, BO). Prima applicazione su campione di tipo artistico/archeologico (FI, BO, TO). *rinviata causa Covid19 presumibilmente di circa 3 mesi* • 100 % (2020)
- **Milestone 3 (mese 18):** realizzazione del beam limiter e completamento delle punto misura con schermaggi e motorizzazione (FI, MIB, PV). Definizione delle leggi empiriche per l'attenuazione nella nuova geometria (FI, TO, BO). • 50 % (2020 → 2021)
- **Milestone 4 (mese 24):** applicazione a casi di studio di interesse ed elaborazione digitale dei dati e confronto con tomografia X (FI, TO, BO) . • 0 %

- Installazione della camera di acquisizione per radiografie neutroniche
- Installazione del sistema di collimazione a pin-hole
- Installazione del sistema di movimentazione campione
- Test di funzionamento dei sistemi di movimentazione



- Misure di risoluzione (150 – 200 micron)
- Misura di efficienza di varie tipologie di scintillatori
- Radiografie di test
- Tomografia di test (300 proiezioni 60 s di acquisizione per immagine: bassa qualità)
- Test elaborazione immagini e tomografie a maggior risoluzione



# Publicazioni



*Review*

## Detectors and Cultural Heritage: The INFN-CHNet Experience

Lorenzo Giuntini <sup>1,2,\*</sup> , Lisa Castelli <sup>1,\*</sup> , Mirko Massi <sup>1,\*</sup> , Mariaelena Fedi <sup>1</sup>, Caroline Czelusniak <sup>1</sup>, Nicla Gelli <sup>1</sup>, Lucia Liccioli <sup>1</sup> , Francesca Giambi <sup>1</sup> , Chiara Ruberto <sup>1,2</sup>, Anna Mazzinghi <sup>1,2</sup> , Serena Barone <sup>1,2</sup>, Francesca Marchegiani <sup>3</sup>, Stefano Nisi <sup>3</sup>, Carmine Lubritto <sup>4</sup>, Simona Altieri <sup>4</sup>, Luca Tortora <sup>5,6</sup> , Paolo Branchini <sup>5</sup> , Andrea Fabbri <sup>5</sup>, Valerio Graziani <sup>5</sup> , Sergio Barcellos Lins <sup>5</sup> , Laura Guidorzi <sup>7,8</sup> , Alessandro Lo Giudice <sup>7,8</sup>, Alessandro Re <sup>7,8</sup> , Leandro Sottili <sup>7,8</sup>, Antonella Balerna <sup>9</sup>, Mariangela Cestelli Guidi <sup>9</sup>, Lucilla Pronti <sup>9</sup> , Martina Romani <sup>9</sup> , Fauzia Albertin <sup>10,11,12</sup>, Matteo Bettuzzi <sup>11,12</sup>, Rosa Brancaccio <sup>11,12</sup>, Maria Pia Morigi <sup>11,12</sup> , Daniele Alloni <sup>13,14</sup>, Andrea Salvini <sup>13,14</sup>, Barbara Smilgys <sup>13,14</sup>, Michele Prata <sup>13,14</sup>, Saverio Altieri <sup>13,15</sup> , Maurizio Bonesini <sup>16,17</sup>, Daniela Di Martino <sup>16,17</sup> , Massimiliano Clemenza <sup>16,17</sup>, Massimo Carpinelli <sup>18</sup>, Piernicola Oliva <sup>18</sup> , Valeria Sipala <sup>18</sup>, Anna Maria Gueli <sup>19</sup> , Stefania Pasquale <sup>20</sup>, Giuseppe Stella <sup>20</sup>, Giancarlo Pepponi <sup>21</sup> , Francesco Grazzi <sup>1,22</sup> and Francesco Taccetti <sup>1</sup>



# ARCO\_FAST

Analysis of Reactor COre - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

RL – Michele Prata

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- Pavia
- Milano Bicocca  
(*Politecnico di Milano*)

## Anagrafica di Pavia

- Michele Prata
- Barbara Smilgys
- Andrea Salvini
- Daniele Dondi
- Nicoletta Protti
- Giancarlo D'Agostino
  
- Marco di Luzio

FTE 2020: 2.9

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

### **Sviluppo completo di un modello termoidraulico.**

- Integrazione del modello termoidraulico con quello neutronico
- Confronto tra le misure, il modello MCNP e il simulatore multifisico Serpent

### **Implementazione di un modello multifisico “parametrico”.**

- Sviluppo del sistema parametrico delle variabili fisiche per un reattore
- Applicazione del modello parametrico a differenti tipologie di macchina

### **Studio di materiali da utilizzarsi in reattori veloci.**

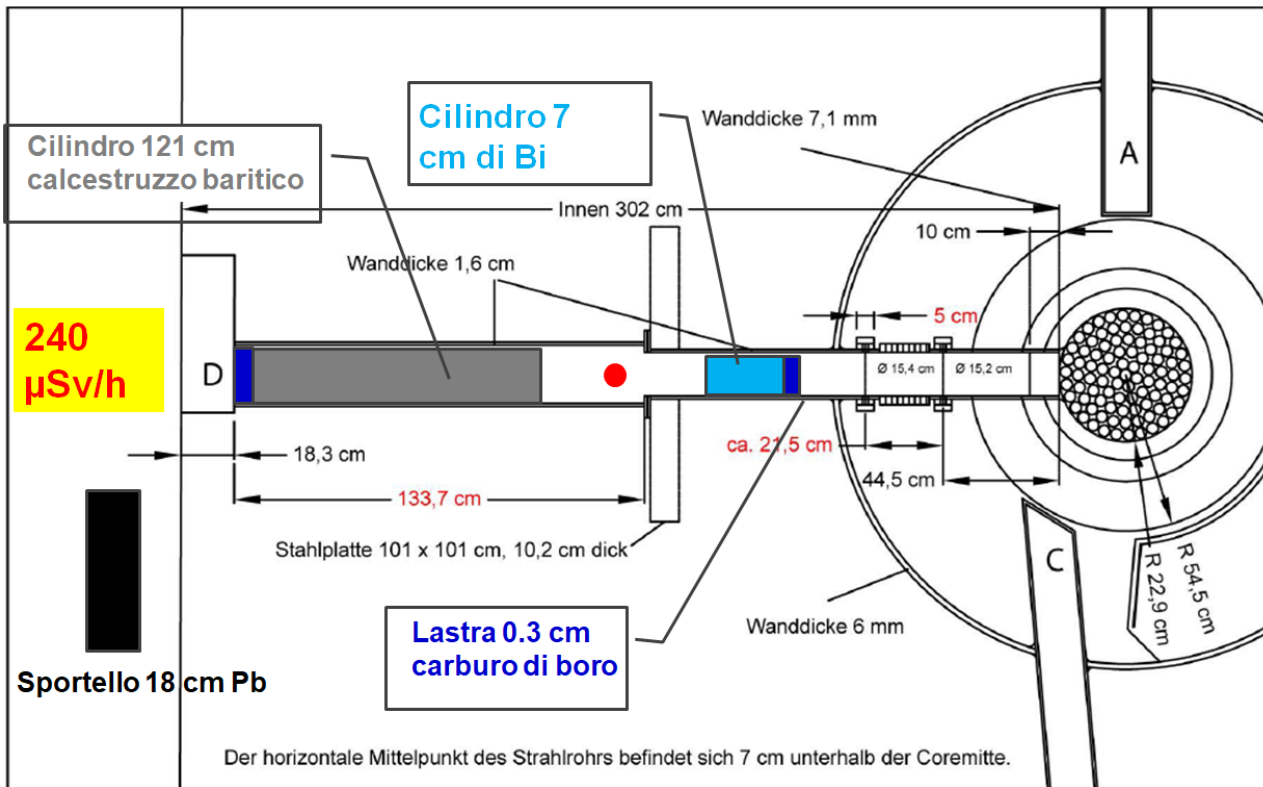
- Analisi elementare per materiali utilizzati in reattori veloci
- Valutazione della radioattività indotta e valutazioni dosimetriche
- Possibile studio di effetti strutturali in materiali specifici

## Obiettivi di Pavia

Il progetto si prefigge di affrontare lo studio di fattibilità, la progettazione e la realizzazione di una facility per lo studio delle reazioni indotte da neutroni veloci sfruttando i canali veloci del reattore di ricerca TRIGA Mk II del LENA opportunamente attrezzati e strumentati per ottenere uno spettro di neutroni di alta energia

# Risultati 2020 – milestones (Pavia)

- Dimensionamento del filtro per il taglio neutroni termici e campo gamma
  - Rivisitazione dell'intera schermatura per alleggerirla dove possibile, in funzione della presenza del filtro ed eventuale shutter
  - Caratterizzazione del campo neutronico
- 
- Attraverso simulazioni mediante codice Monte Carlo si sono dimensionati i filtri per il taglio dei neutroni termici e l'attenuazione del campo di radiazione gamma e si è potuto rivedere il dimensionamento dell'intera schermatura.
  - In collaborazione con INRiM (*Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica*) si sono effettuate misure di flusso del campo neutronico veloce, lungo l'asse del canale, al fine di validare le simulazioni.
  - Si è giunti all'ipotesi di una nuova schermatura che è ora all'attenzione del Collegio dei Delegati alla Sicurezza dell'Impianto.



| <table border="1"> <tr> <td>Datum</td> <td>02.05.2012</td> <td>Institut für Kernchemie</td> <td>Universität Mainz</td> <td>Strahlrohr D</td> </tr> <tr> <td>Bearb.</td> <td>Arno Schmidt</td> <td>Fritz-Straßmann-Weg 2</td> <td>TRIGA Mainz, Maße</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gepr.</td> <td>Breuel</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Erneu.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> |              |                         |                   |              | Datum            | 02.05.2012       | Institut für Kernchemie | Universität Mainz | Strahlrohr D | Bearb. | Arno Schmidt | Fritz-Straßmann-Weg 2 | TRIGA Mainz, Maße |  | Gepr. | Breuel |  |  |  | Erneu. |  |  |  |  | Neutroni termici<br>( $E < 0.5 \text{ eV}$ )<br>( $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) | Neutroni epitermici<br>( $0.5 \text{ eV} \leq E < 0.5 \text{ MeV}$ )<br>( $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) | Neutroni veloci<br>( $E \geq 0.5 \text{ MeV}$ )<br>( $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) | Gamma<br>( $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) |
|---|--------------|-------------------------|-------------------|--------------|------------------|------------------|-------------------------|-------------------|--------------|--------|--------------|-----------------------|-------------------|--|-------|--------|--|--|--|--------|--|--|--|--|---|---|--|--|
| Datum   | 02.05.2012   | Institut für Kernchemie | Universität Mainz | Strahlrohr D |                  |                  |                         |                   |              |        |              |                       |                   |  |       |        |  |  |  |        |  |  |  |  |   |   |  |  |
| Bearb.  | Arno Schmidt | Fritz-Straßmann-Weg 2   | TRIGA Mainz, Maße |              |                  |                  |                         |                   |              |        |              |                       |                   |  |       |        |  |  |  |        |  |  |  |  |   |   |  |  |
| Gepr.   | Breuel       |                         |                   |              |                  |                  |                         |                   |              |        |              |                       |                   |  |       |        |  |  |  |        |  |  |  |  |   |   |  |  |
| Erneu.  |              |                         |                   |              |                  |                  |                         |                   |              |        |              |                       |                   |  |       |        |  |  |  |        |  |  |  |  |   |   |  |  |
| Senza filtro  |              |                         |                   |              | $1.1 \cdot 10^9$ | $2.1 \cdot 10^9$ | $1.2 \cdot 10^9$        | $6.0 \cdot 10^9$  |              |        |              |                       |                   |  |       |        |  |  |  |        |  |  |  |  |   |   |  |  |
| Con filtro  |              |                         |                   |              | $4.1 \cdot 10^7$ | $4.8 \cdot 10^8$ | $4.4 \cdot 10^8$        | $5.5 \cdot 10^8$  |              |        |              |                       |                   |  |       |        |  |  |  |        |  |  |  |  |   |   |  |  |
| Con / Senza   |              |                         |                   |              | 0.04             | 0.23             | 0.37                    | 0.09              |              |        |              |                       |                   |  |       |        |  |  |  |        |  |  |  |  |   |   |  |  |

## **Conventional Fast Neutron Flux Measurement in the Radial Piercing Channel D of the TRIGA Mark II Reactor, Pavia**

**Marco Di Luzio<sup>1,2,\*</sup>, Giancarlo D'Agostino<sup>1,2</sup>, Setareh Fatemi<sup>2</sup>, Barbara Smilgys<sup>2,3</sup>,  
Andrea Salvini<sup>4,2</sup>, Massimo Oddone<sup>5,1</sup>, Saverio Altieri<sup>2,3</sup>, Michele Prata<sup>4,2</sup>**

### **ABSTRACT**

Measurements of fast flux in four positions of a radial piercing channel of TRIGA Mark II nuclear reactor of Pavia was performed by means of a bare irradiation method and a Monte Carlo simulation both relying on Ni monitors. Reaction rates per target nucleus of Ni, obtained from measurement and simulation, were compared in order to verify the accuracy of the simulations.

A satisfactory agreement was observed since the results were compatible within the stated uncertainties with exception of values related to the position closest to the reactor core, where a discrepancy at ten percent level was highlighted. Consequently, the Monte Carlo code used for the simulation was considered to be validated and thus, intended to be used in the forthcoming structural modifications of the channel D which include neutron shielding and thermal neutron filter.