

**CSN5**  
Ricerca  
**Tecnologica**



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

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

**Consiglio di Sezione – 15 giugno 2022**

Silva Bortolussi

## Rivelatori

ANET (Altieri)  
ARCADIA (Traversi)  
ASAP (Ratti)  
FALAPHEL (Gaioni)  
HiDRA2 (Gaudio)  
TERAPOL (Pirzio)

## Fisica Medica

AI\_MIGHT (Fatemi)  
ENTER\_BNCT (Bortolussi)  
ISOLPHARM\_EIRA (Zenoni)  
NEPTUNE (Bortolussi)  
NEXT\_AIM (Lascialfari)  
PROTHYP (Mariani)  
REMIX (Fontana)  
SPEYE (Cattaneo)

## Fisica per i beni culturali

CHNET\_NICHE (Alloni)

## Quantum

QUANTEP (Bellani)  
NAMASSTE (Mariani)

## Calcolo

MC\_INFN (Carante)

## INFN-E

ARCO-FAST (Salvini)

# Attività 2022 in Sezione

# Sigle Aperte nel 2023 (se ne sono chiuse 9 nel 22)

ADA\_5D (RL Lodovico Ratti)

ARES (grant giovani - PI Ricardo Ramos)

ADMIRAL (RL Antonietta Donzella)

CHNET\_MAXI (RL Alessandro Menegolli)

MATHER3D (RN+RL Alessandro Lascialfari)

BIOHOT (RL Francesca Ballarini)

DISCOVER22 (RL Giorgio Baiocco)

HISOL (RL Valerio Villa)

IONOTRACK (RL Marco Grassi)

# ASAP

Array of Silicon Avalanche Pixels

RL – Lodovico Ratti

RN - Pier Simone Marrocchesi (INFN PI)

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

PD, PI, PV, TIFPA

## Anagrafica di Pavia

Joana Minga (dott.): 100%

Ratti Lodovico (PO): 60%

Torilla Gianmarco (dott.): 100%

Vacchi Carla (RU): 70%

FTE 2022 a PV: 3.3

# Goal del progetto

## Obiettivi generali:

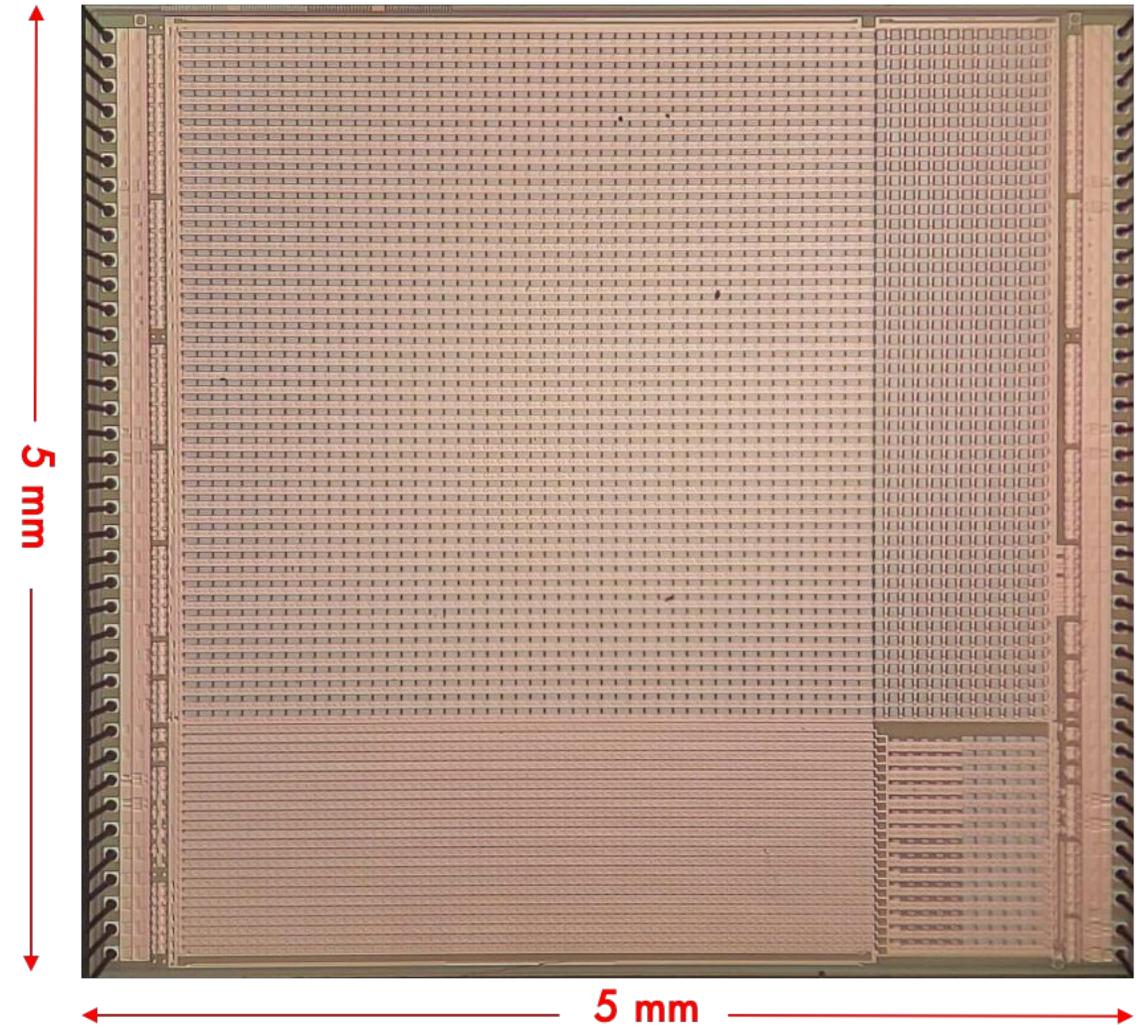
develop a new generation of **layered avalanche** detectors for charged particles (also in **medical applications**) leveraging **process scaling**, **thinning technologies**, **process tailoring** and **through silicon vias** for improved efficiency, reduced DCR and buttability to cover large areas

## Obiettivi di Pavia:

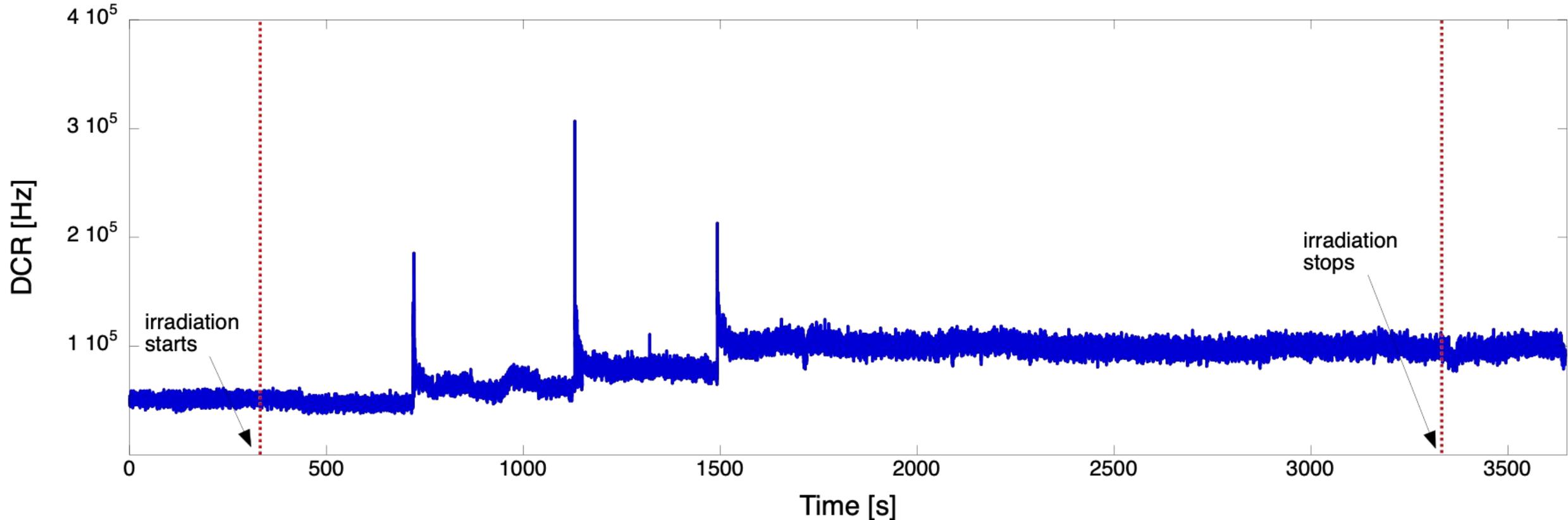
design and characterize CMOS SPADs in 150 nm and 110 nm technology, in a single-layer configuration and in a dual-layer configuration read out in coincidence; study effects both from ionizing and non-ionizing radiation; design a wireless  $\beta$ -emitter probe

# Neutron irradiation at INFN-LNL

- ❑ Single- and dual-layer SPAD arrays in 150 nm CMOS technology exposed to a low neutron flux of  $6 \times 10^7$  1 MeV neutron equivalent  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
- ❑ Maximum fluence of  $4.3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$
- ❑ Online DCR measurements (100 ms time resolution) to study short- and mid-term annealing processes
- ❑ Increased radiation tolerance in dual-layer SPADs

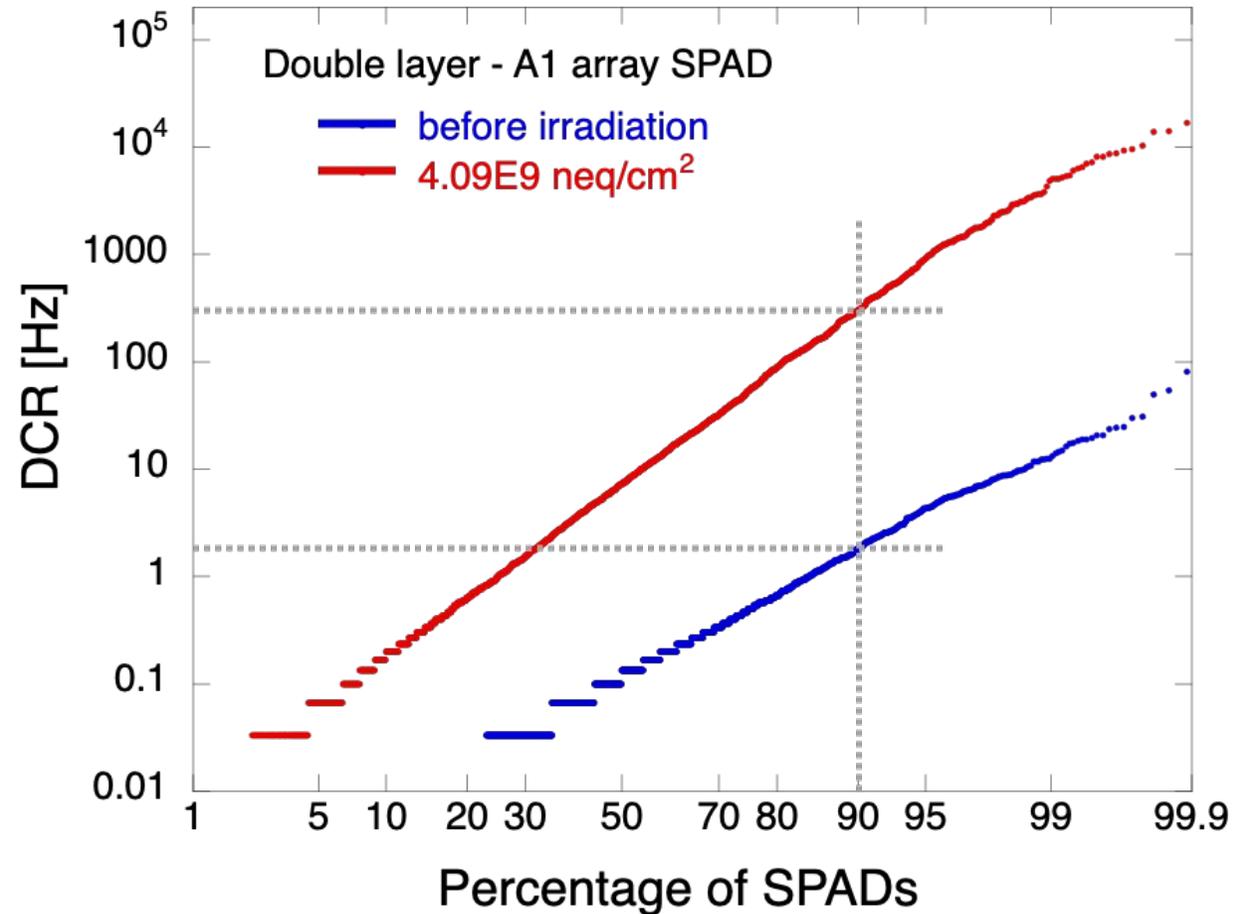
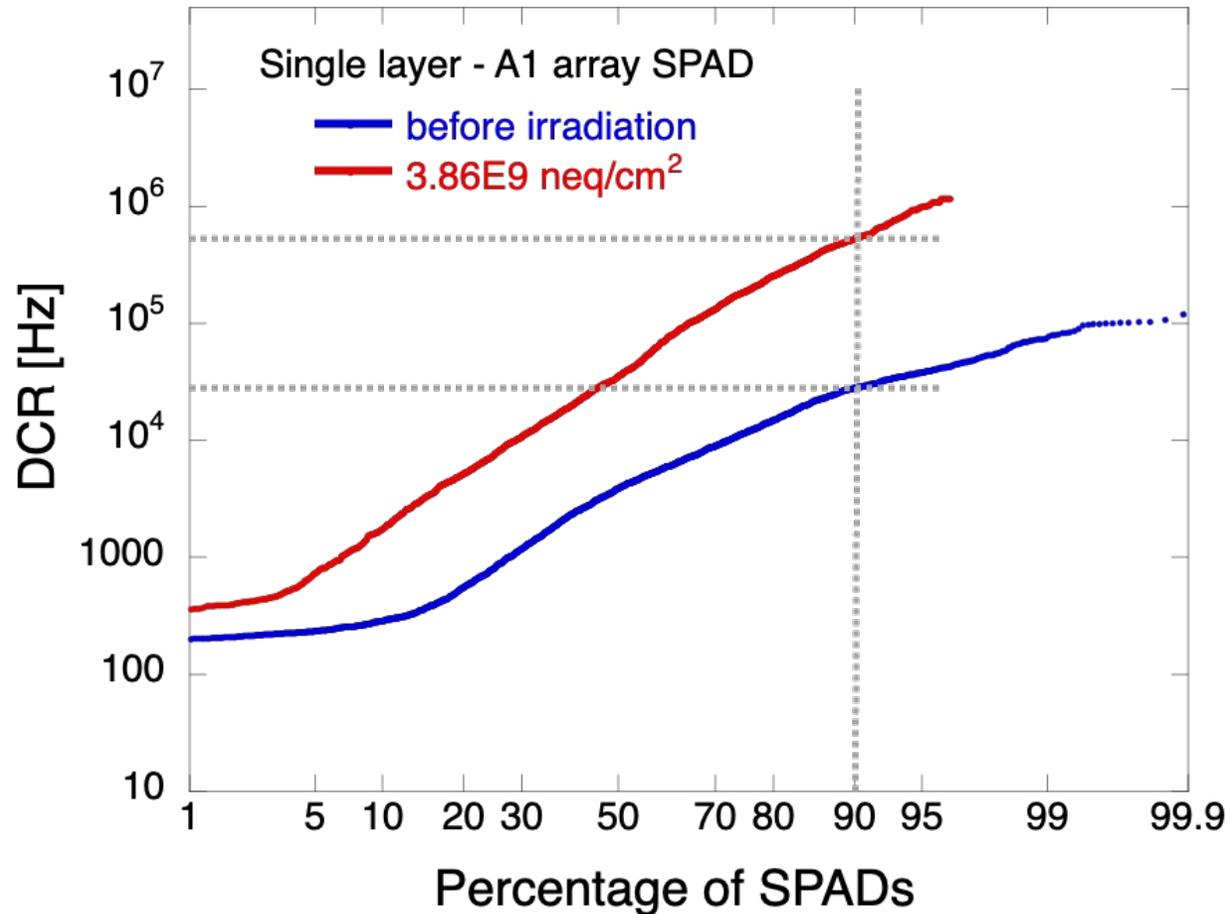


# Time resolved DCR measurements



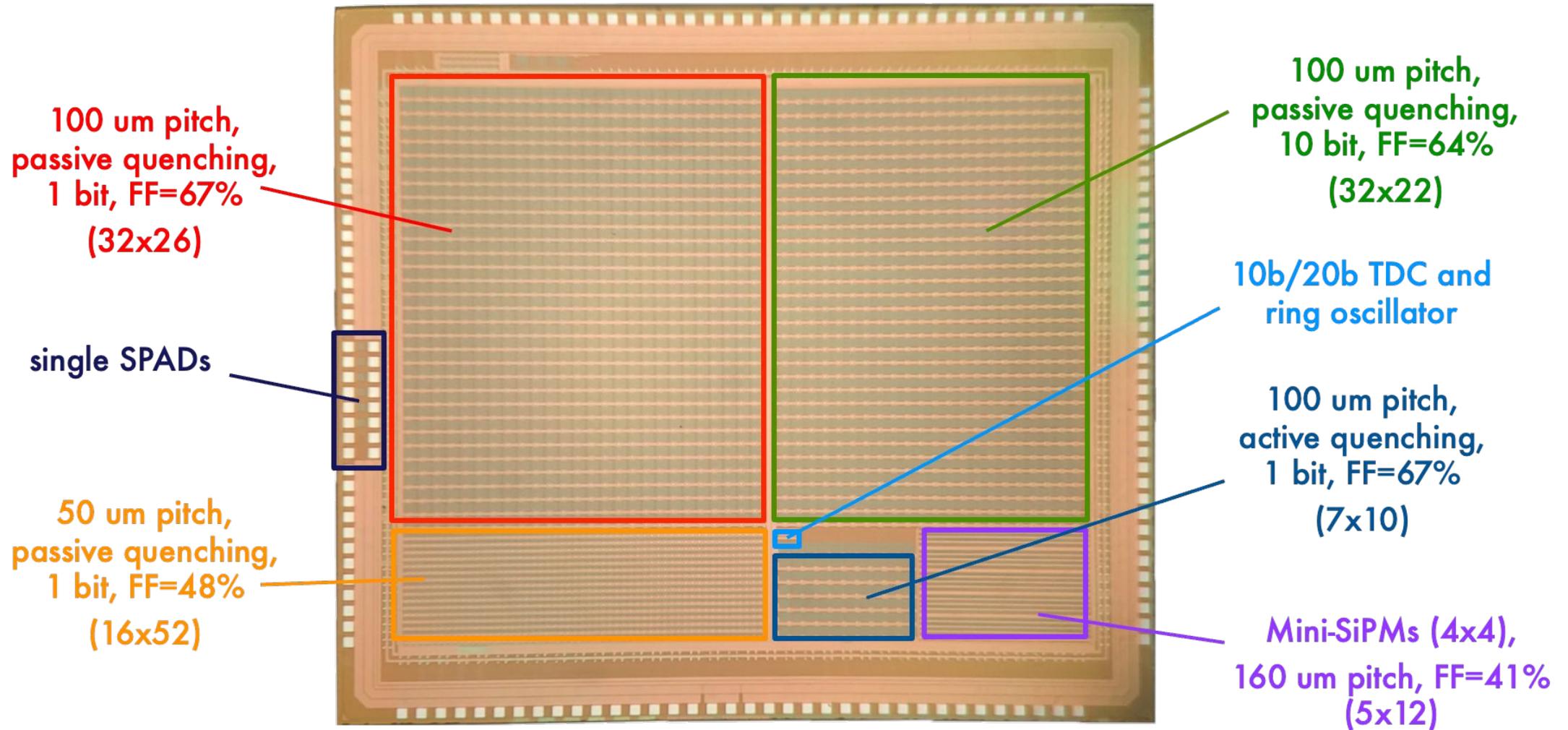
- ❑ Time resolved DCR measurements to study short- and mid-term annealing processes - to be taken into account when estimating damage based on fluence and non-ionizing energy loss (NIEL)
- ❑ Three individual scattering events clearly visible, with the DCR settling to about 100 kHz after hitting 300 kHz following the second event

# Single- vs dual-layer



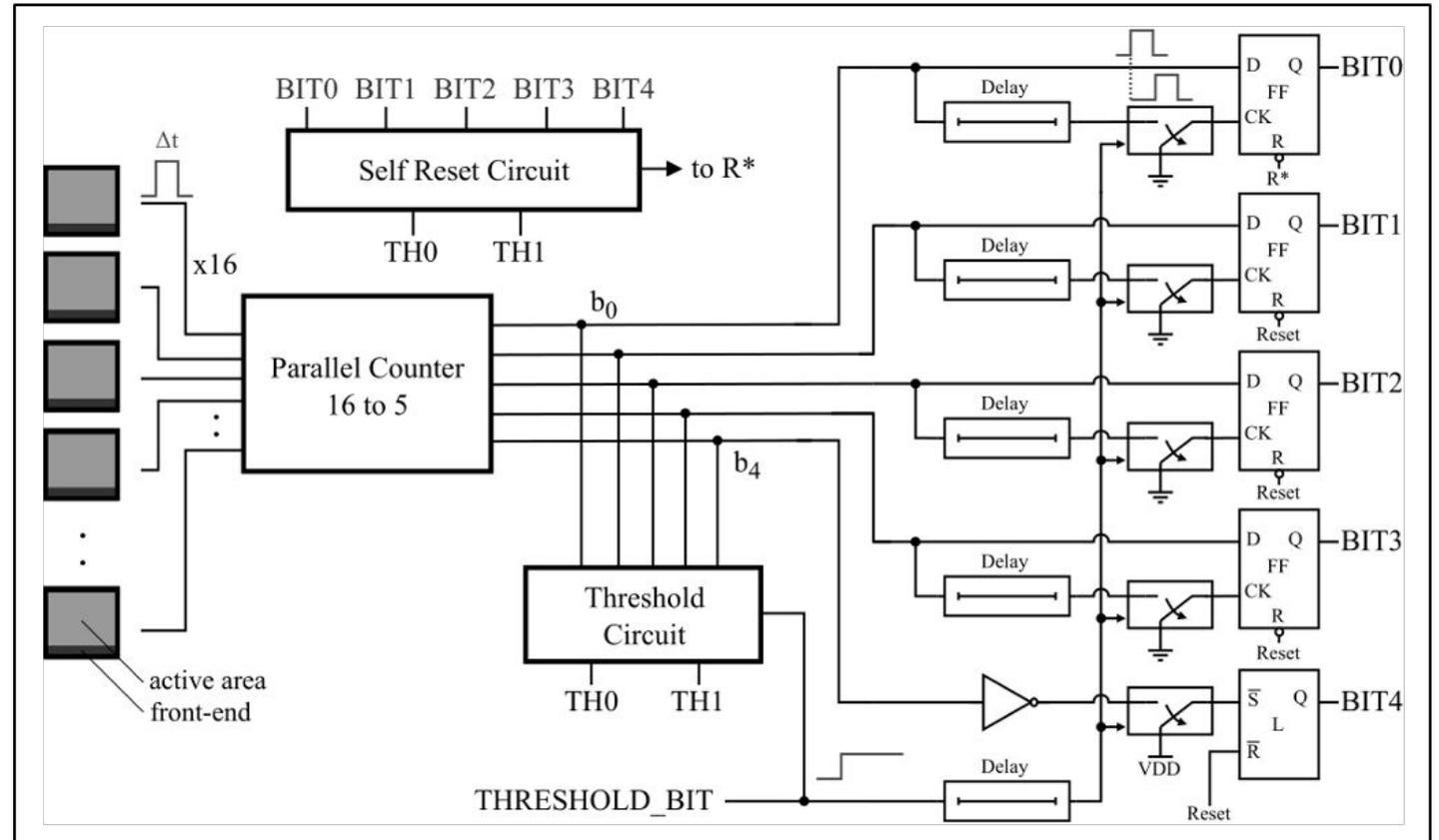
Cumulative distribution of DCR in SPADs from single- and dual-layer arrays - after exposure to similar neutron fluences, DCR in dual-layer SPADs remains orders of magnitude smaller than in single-layer arrays

# ASAP110LF - SPAD arrays in CMOS 110 nm



# Mini-SiPM with parallel counter

- ❑ The SiPM contains **16 SPADs**, arranged in a 4x4 array, and a processing circuit.
- ❑ The 16-bit input **parallel counter** provides in **real time** the number of simultaneously triggered pulses
- ❑ The count result is fed to the memory elements through an **auto-triggering mechanism**, which filters out spurious glitches coming from the counter.
- ❑ A **SOT** logic has been implemented.
- ❑ A **noise rejection feedback network (NRFN)** has been designed to filter out individual dark pulses.



# Presentazioni

G. Torilla et al., “DCR and cross-talk characterization of a bi-layered 24x72 CMOS SPAD array for charged particle detection”, presented at the 15th Pisa Meeting on Advanced Detectors, May 22-28 2022, La Biodola, Italy.

G. Torilla et al., “Digital SiPMs in a 110 nm CMOS technology with fast parallel counter architecture”, presented at the 2022 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 5-12 November 2022, Milan, Italy.

J. Minga et al., “A wireless probe based on a dual-tier CMOS SPAD array for charged particle detection”, presented at the 2022 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 5-12 November 2022, Milan, Italy.

L. Ratti et al., “Bias and Temperature Effects on DCR and RTS Fluctuations in 1- and 2-Layer CMOS SPADs”, presented at the 2022 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 5-12 November 2022, Milan, Italy.

L. Ratti et al., “Radiation effects and underlying damage mechanisms in the dark count rate of CMOS SPADs”, presented at the SPIE DCS Conference, Advanced Photon Counting Techniques XVII, Orlando, USA, April 30, May 4 2023.

L. Ratti, “Dealing with DCR in SPADs and SiPMs in CMOS technology: characterization and design perspectives”, presented at the Front-End Electronics Workshop Conference, Torino, Italy, 12-16 June 2023.

L. Ratti et al., “Online DCR measurements in 150 nm CMOS SPADs exposed to low neutron fluxes”, to be presented at the 2023 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference (NSREC), Kansas City, USA, 24-28 July 2023.

# Publicazioni

G. Torilla et al., “DCR and cross-talk characterization of a bi-layered 24x72 CMOS SPAD array for charged particle detection”, Nucl. Instrum. Methods A, vol. 1046, article number 167693, 2023.

J. Minga et al., “A Wireless, Battery-Powered Probe Based on a Dual-Tier CMOS SPAD Array for Charged Particle Sensing”, Electronics, vol. 12, no. 11, article number 2549, 2023.

# Tesi di dottorato

J. Minga, “Imaging Probe for Charged Particle Detection Based on SPAD Sensors”. Ph.D. Thesis, Università di Pavia, Academic Year 2021/2022.

# ARCADIA

Advanced Readout CMOS Architectures with Depleted Integrated sensor Arrays

RN – Manuel Dionisio Da Rocha Rolo Call GSN5

RL – Gianluca Traversi

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- INFN Bologna
- INFN Milano
- INFN Padova
- INFN Pavia
- INFN Perugia
- INFN Torino
- TIFPA Trento

## Anagrafica di Pavia

G. Traversi	30%
Luigi Gaioni	20%
Carla Vacchi	30%
Massimo Mangisoni	20%

FTE 2022: 1

# Goal del progetto

## Obiettivi generali:

development of 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

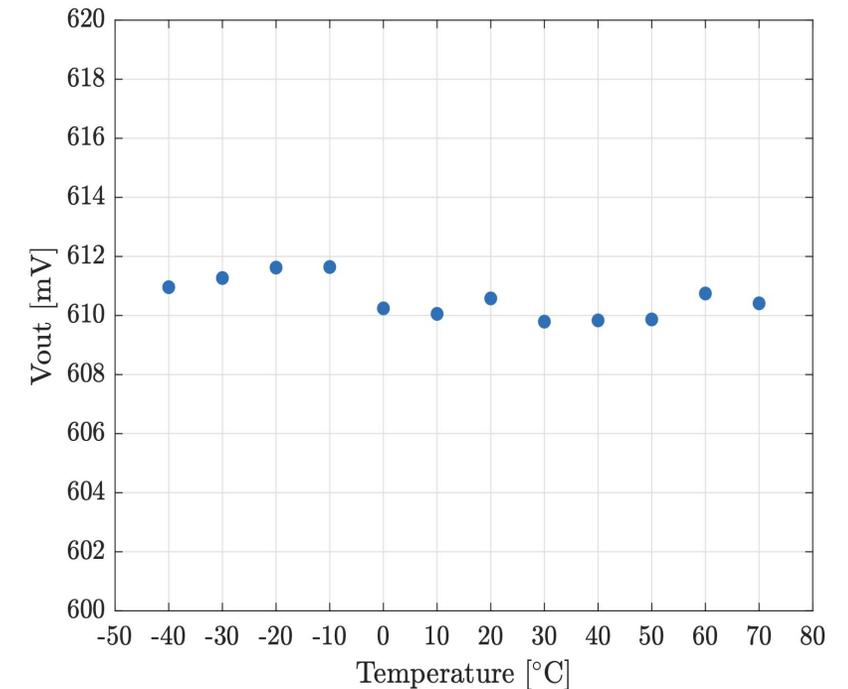
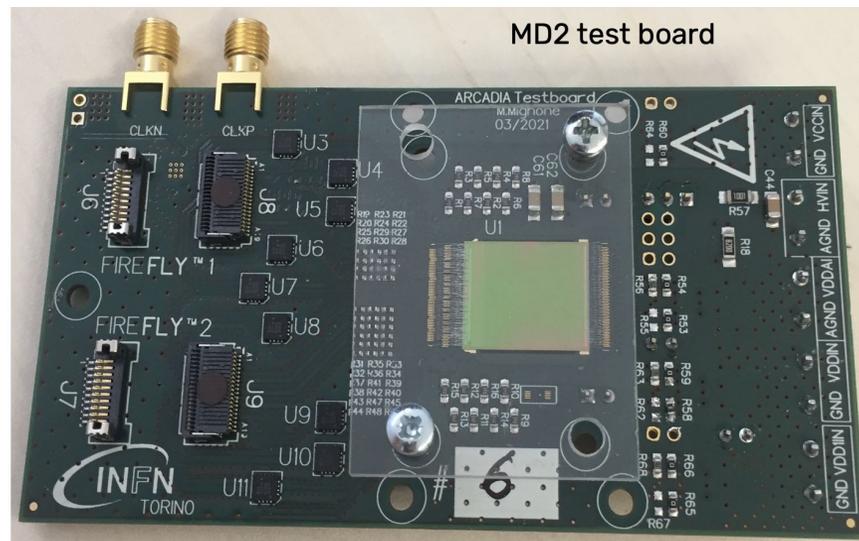
## Obiettivi di Pavia

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

Characterization of TID effects in single devices and circuits.

# Attività del gruppo di Pavia nel 2022

- Characterization of a radiation hard bandgap reference circuit fabricated in a 110nm CMOS technology for the Main Demonstrator chip (V2) of the ARCADIA project.
- An irradiation campaign of the Main Demonstrator (V3) with an X-ray source is planned for 2023 to assess the radiation hardness of the proposed voltage reference circuit.



# Tesi e Pubblicazioni 2022

G. Traversi et al., "A radiation hard bandgap voltage reference for the ARCADIA project", Journal of Instrumentation, Vol. 18 (11), Jan. 2023, Article number C01049, DOI: [10.1088/1748-0221/18/01/C01049](https://doi.org/10.1088/1748-0221/18/01/C01049)



# FALAPHEL

Fast Links and RadHard Front End  
with Integrated Photonics and Electronics for Physics

RL –Luigi Gaioni

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Padova

Pavia

Pisa

## Anagrafica di Pavia:

- Luigi Gaioni (40%)
- Lodovico Ratti (20%)
- Valerio Re (10%)
- Elisa Riceputi (50%)
- Gianluca Traversi (30%)
- Matteo Fratus (100%)

nota: Andrea Galliani (AdR) ha  
preso servizio in data 01/06/2022

**FTE 2022- PV: 2.5**

# Goals del progetto

## Obiettivi generali

- Avanzare lo stato dell'arte dei data links ad alta velocità e dei circuiti di lettura di segnali misti per future applicazioni di rivelatori di pixel ad alta velocità
- studiare l'integrazione di questi collegamenti dati e dei blocchi front-end analogici/digitali

## Finalità più specifiche:

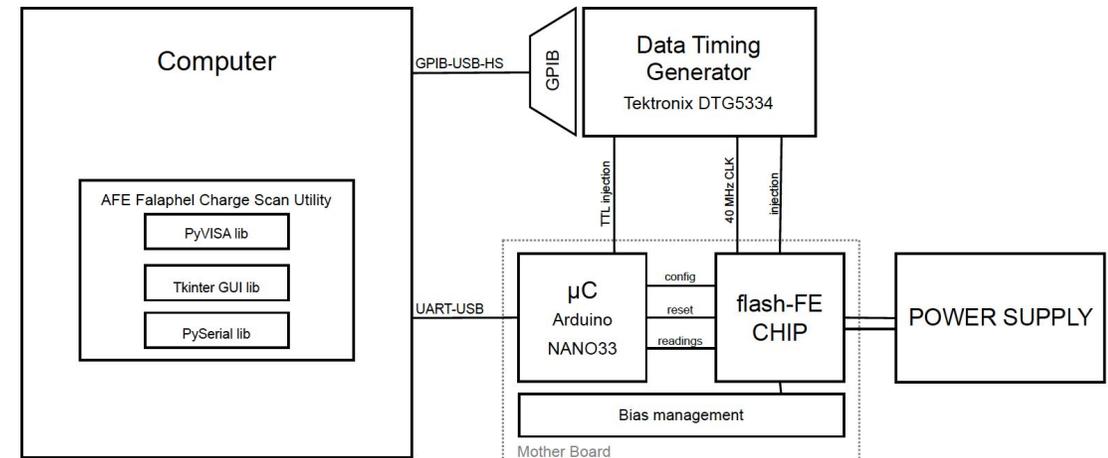
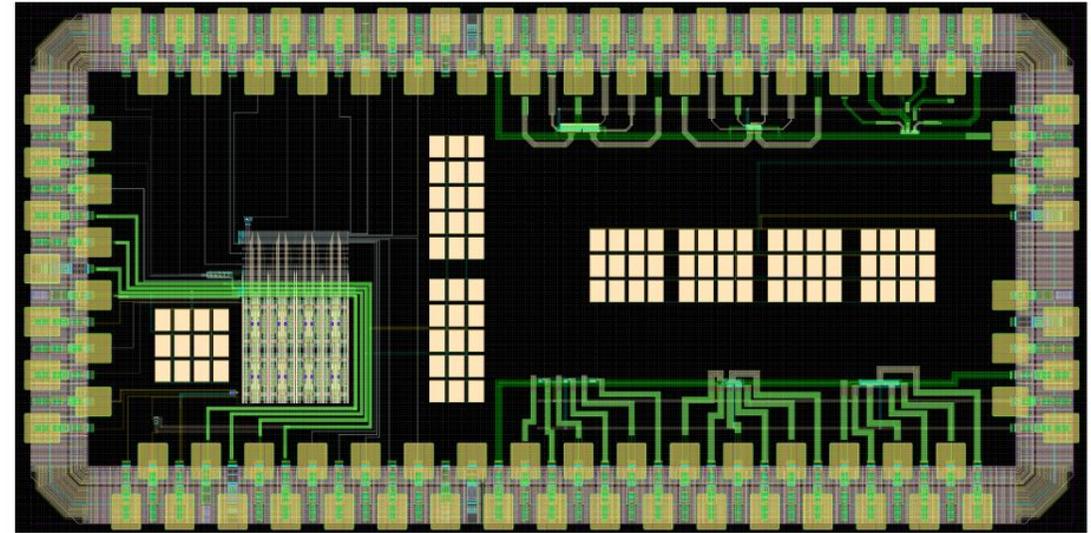
- Integrazione ibrida di modulatori in Silicon Photonics con elettronica CMOS 28 nm rad-hard ( $\geq 1$  GRad) ad alta velocità:
  - Link con velocità “aggregata” di 100 Gb/s sfruttando la tecnica del wavelength division multiplexing (4 wavelength su una singola fibra ottica) possibilmente integrati con elettronica di front-end in 28nm

## Obiettivi di Pavia

- Integrazione e sottomissione chip in tecnologia CMOS 28nm con elettronica di front-end rad-hard
- Caratterizzazione delle strutture di test integrate

# Risultati 2022 – Milestones (Pavia)

- Design, integrazione e sottomissione di un prototipo in tecnologia CMOS 28 nm con una **matrice di 8x4 di canali di lettura per sensori a pixel ibridi**.
- I canali progettati includono un preamplificatore di carica a basso rumore e un convertitore analogico/digitale di tipo “flash” a 2 bit.
- Il prototipo sottomesso integra inoltre dei **dispositivi singoli** che verranno caratterizzati dal punto di vista delle prestazioni statiche e di rumore.
- Sviluppo del **sistema DAQ** per il testing del prototipo sottomesso.



# Tesi e Pubblicazioni

- L. Gaioni et al., "28 nm CMOS analog front-end channels for future pixel detectors", Nuclear Instruments and Methods, vol. 1045, Jan 2023, 167609.
- L. Gaioni et al., "28 nm CMOS analog front-end channels for future pixel detectors", 15th Pisa Meeting on Advanced Detectors – La Biodola, Isola d'Elba, May 22 – 28, 2022

# HiDRA2

High-Resolution Highly Granular Dual-Readout Demonstrator

RN – Bob Ferrari - Call CSN 5

RL - Gabriella Gaudio

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte

- Bologna
- Catania
- TIFPA
- Milano (Celoria)
- Pavia
- Pisa
- Roma I

FTE 2022: 2.4

## Anagrafica di Pavia

  Cognome	 Nome 	Contratto 	Profilo 	Stato 	Aff. 	%
Agarwala	Jinky	Contratto non Trovato				20%
Ferrari	Roberto	Dipendente	Dirigente di Ricerca	Attivo		40%
Gaudio	Gabriella	Dipendente	Primo Ricercatore	Attivo		10%
Negri	Andrea	Associato	Incarico di Ricerca scientifica	Attivo		10%
Polesello	Giacomo	Dipendente	Dirigente di Ricerca	Attivo		20%
Ratti	Lodovico	Associato	Incarico di Ricerca tecnologica	Attivo		10%
Torilla	Gianmarco	Associato	Tecnologica Dottorandi	Attivo		100%
Vacchi	Carla	Associato	Tecnologica Ricercatori/Professori università	Attivo		30%

# Goal del progetto

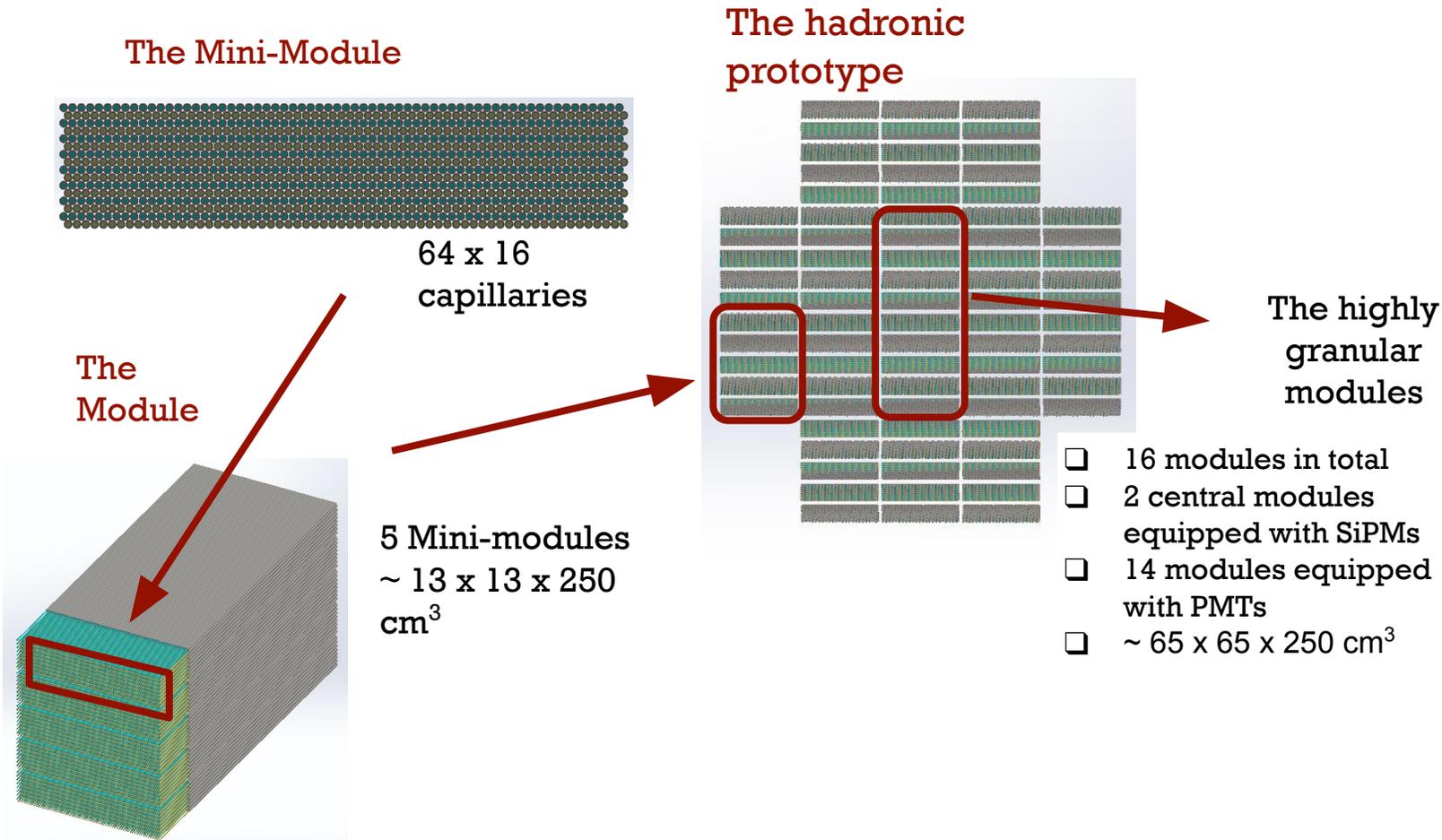
## Obiettivi generali

Costruzione di un prototipo con contenimento adronico (65x65x250 cm<sup>3</sup>) con la tecnica dual-readout per la validazione della tecnica calorimetrica e della simulazione adronica con Geant4

## Obiettivi di Pavia

- Responsabilità del WP di costruzione meccanica
  - Costruzione del calorimetro e meccanica di supporto
- Responsabilità del WP di Fisica e Simulazione
  - studi di performance del calorimetro

# Risultati 2022 – milestones (Pavia)

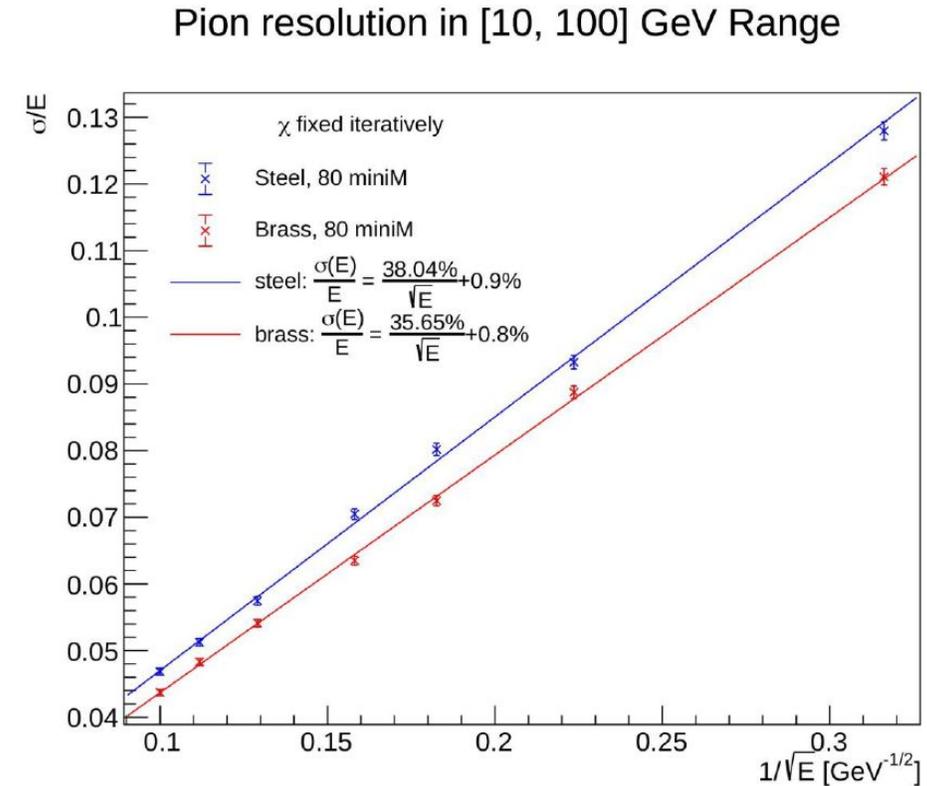
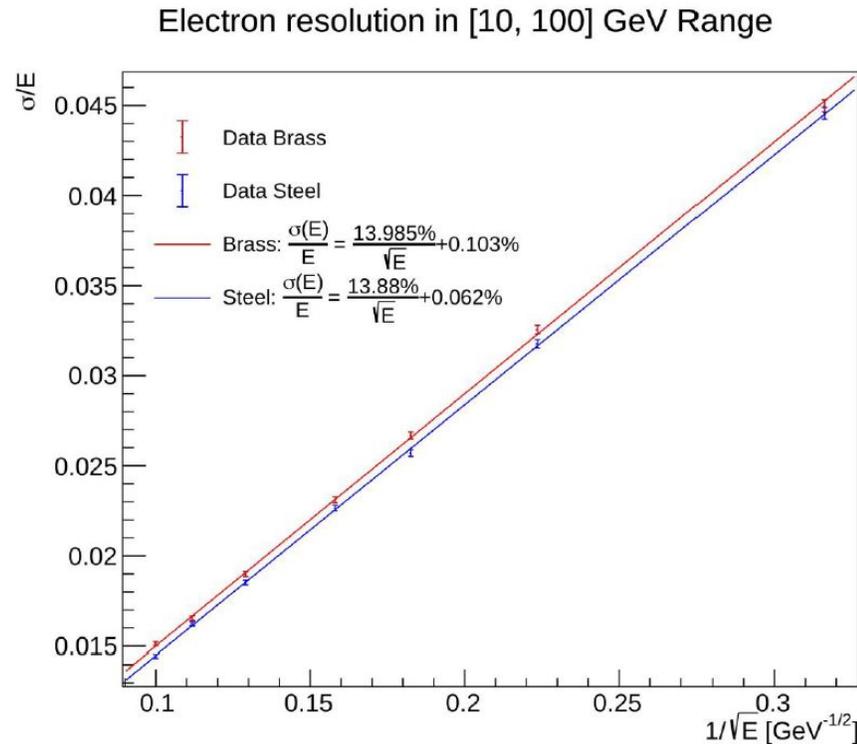


Simulazione completa e validata del detector prototipale con la geometria e con i materiali definitivi. (100%)

Full simulation funzionante e validata per la geometria a  $4\pi$  (50% - implementazione della nuova geometria ancora da fare)

Definizione dei materiali dell'assorbitore e della tipologia di fibre scintillanti nonché dei capillari (100%)

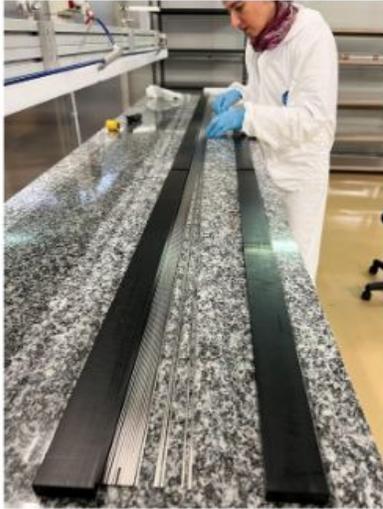
# Risultati 2022



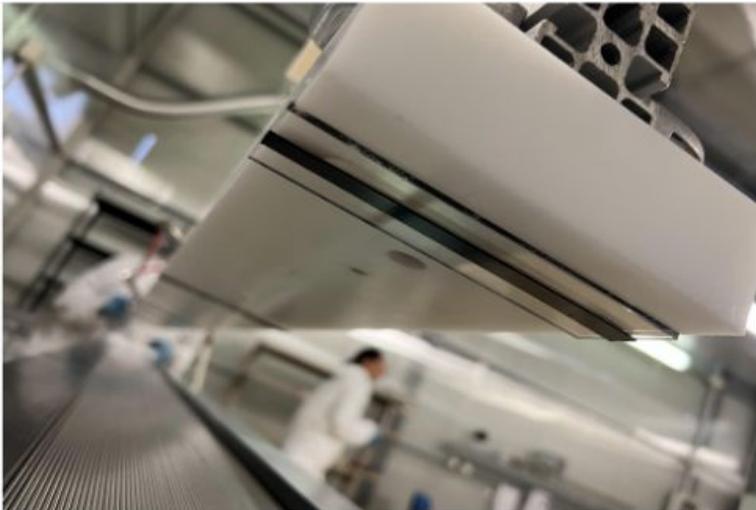
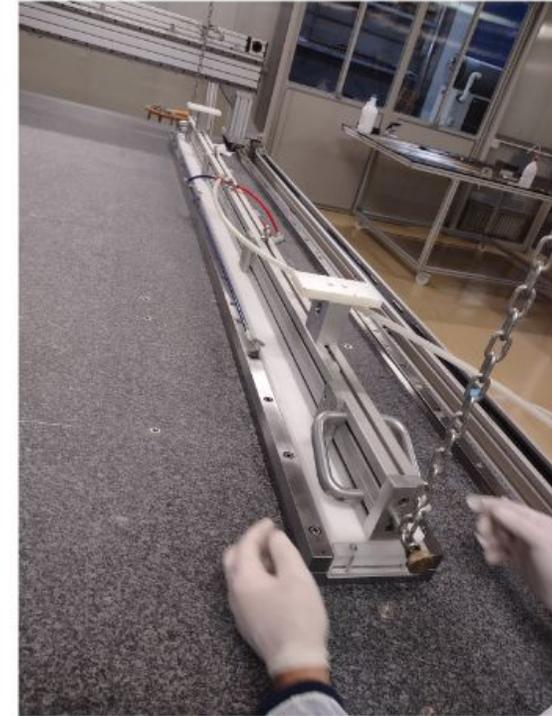
Simulazione del prototipo e studi di performance per la definizione dei parametri costruttivi  
e.g. scelta assorbitore (acciaio) e scelta lunghezza del calorimetro (2.5 m)

# Risultati 2022

definizione della tecnica costruttiva e prime prove di incollaggio  
(camera pulita in via ferrata)  
Progettazione e realizzazione officina meccanica (GRAZIE!)



tube aligned in a  
reference tool



Vacuum + double-sided tape for tube handling

Stiffback-like technique for tube handling, glueing  
and positioning in the assembly tool

# Tesi e pubblicazioni

## PUBBLICAZIONI

- Lucchini Toliman M., Pezzotti L, **Polesello G.** , Tully CG “Particle flow with a hybrid segmented crystal and fiber dual-readout calorimeter”, IOP Publishing Ltd , J. Instrum
- 2 Proceeding di ICHEP (**G. Polesello, G. Gaudio**)

## PRESENTAZIONI

**G. Gaudio**, “The IDEA detector concept for FCCee” - ICHEP2022

**G. Gaudio**, “Physics studies at FCC-ee”, LFC22: STRONG INTERACTIONS FROM QCD TO NEW STRONG DYNAMICS AT LHC AND FUTURE COLLIDERS

**G. Gaudio**, “Calorimetry at Future Experiments”, XXXIII INTERNATIONAL SEMINAR of NUCLEAR and SUBNUCLEAR PHYSICS "Francesco Romano"

**G. Polesello**, “Exposing a fibre-based dual-readout calorimeter prototype to beams of electrons”, ICHEP 2022

**A.Negri**, “IDEA: a detector concept with Dual readout Calorimetry for future Higgs factories”, Joint Workshop of the CEPC Physics, Software and New Detector Concept in 2022

## TESI

**Andrea De Vita** “Studi di performance di un calorimetro dual-readout per Future Circular Collider”, tesi triennale

# TERAPOL

TERAhertz POLaritons

THz-TDS to probe Antiferromagnetic Topological Insulators

RL – Federico Pirzio

RN - Caterina Braggio

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- Padova (FTE 1.55, 5 people)
- Pavia (FTE 1.2, 2 people)

## Anagrafica di Pavia:

Federico Pirzio (0.6)  
Antonio Agnesi (0.6)

# Goals del progetto

## Obiettivi generali

Investigate AntiFerromagnetic Topological Insulators (AF-TIs) (e.g.  $\text{MnxBi}_y\text{Te}_z$ ) for the development of axion detectors by means of a **terahertz time domain spectroscopy apparatus (THz-TDS)**

Finalità più specifiche:

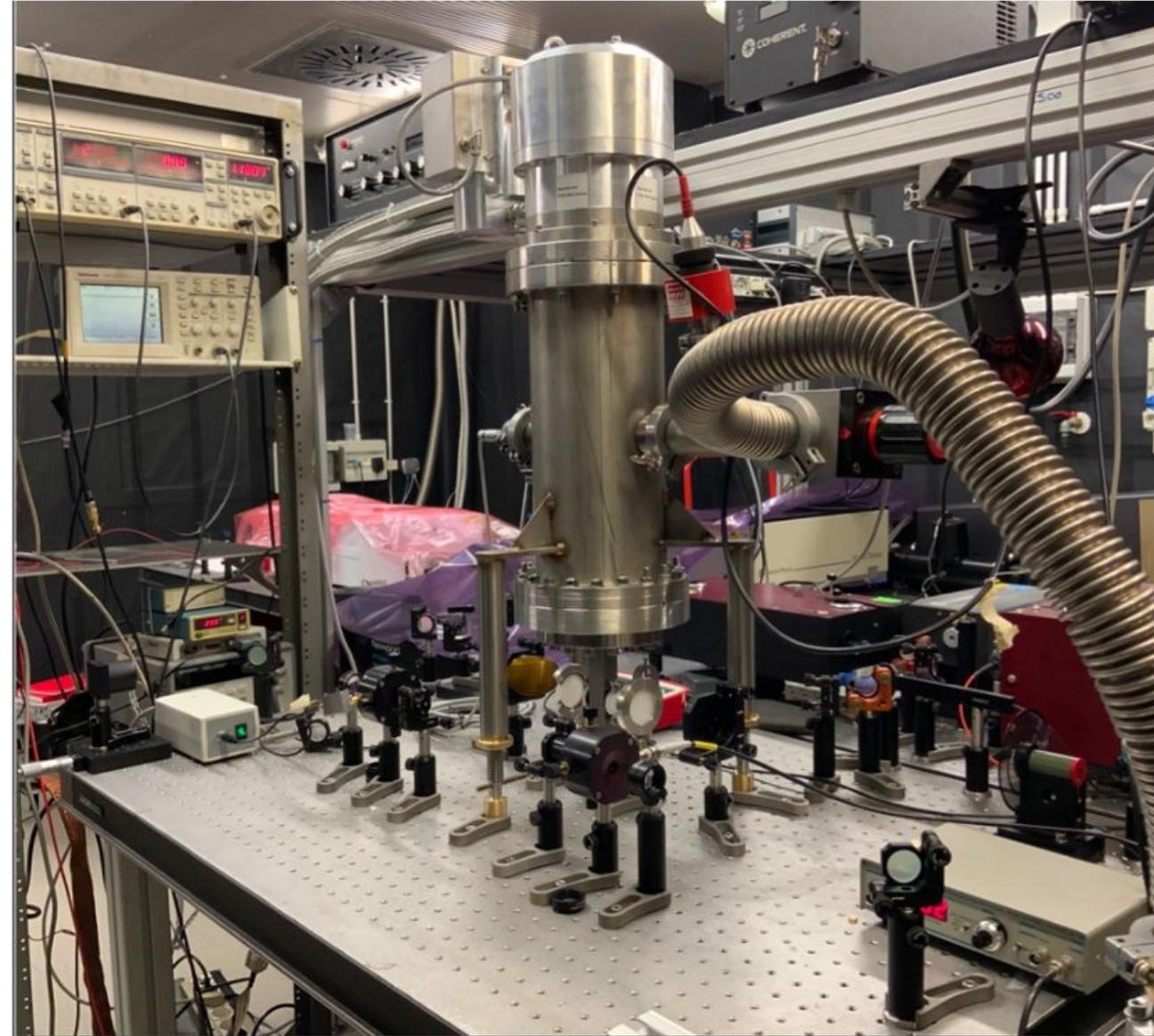
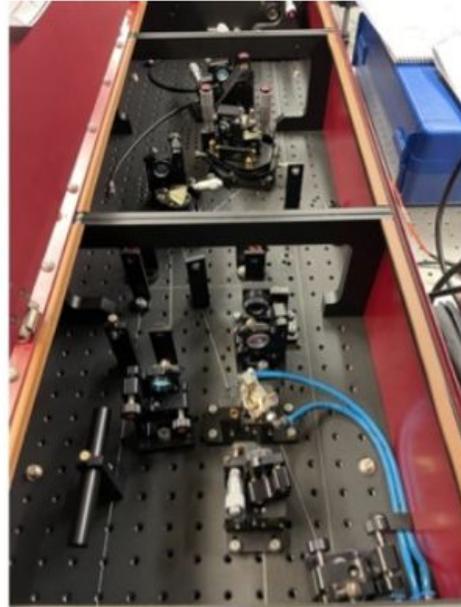
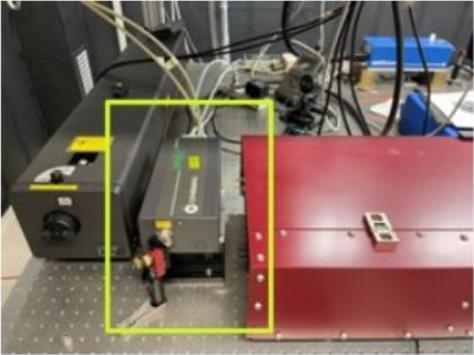
- Development of the THz-TDS apparatus based on a fs Ti:Sapphire laser
- Test of the dynamic range of the apparatus
- Transmission measurements on  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  samples at 4.5 K

## Obiettivi di Pavia

- To provide support in the debug and optimization of the laser used for the excitation of the THz-TDS spectrometer
- To provide support for the upgrade of the fs laser system (in particular regarding the new pump unit of the ti:sapphire laser)

# Risultati 2022 – Milestones (Pavia)

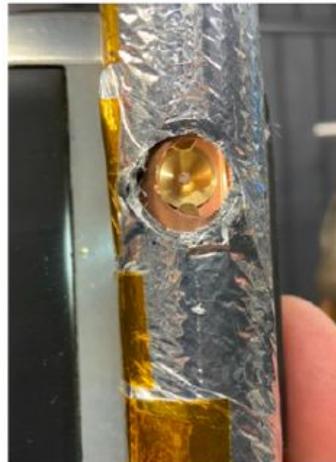
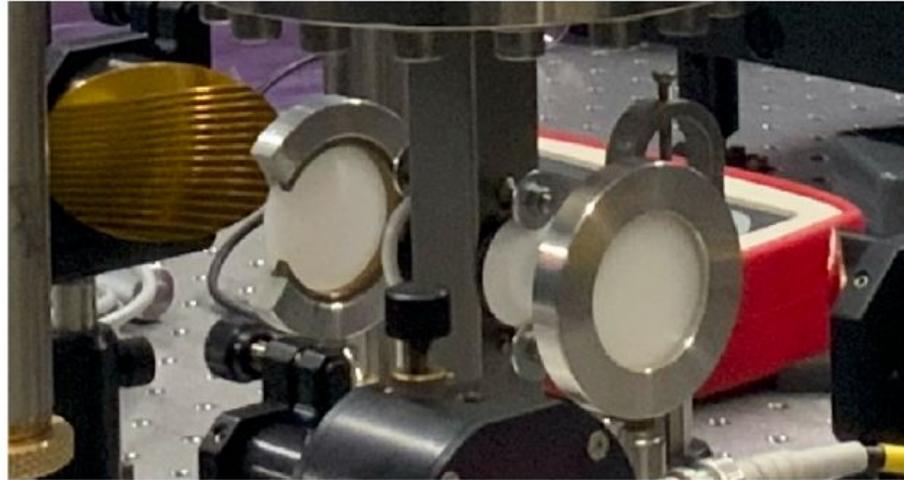
- components from the previous setup: Ar-ion pump laser and Ti:Sa oscillator, photoconductive antennae (Teravil), parabolic mirrors, pre-amplifier and lock-in, pulse tube
- new optical delay line and pump laser installed



# Risultati 2022

## MEASUREMENTS WITH THE FIRST AND SECOND BATCH OF SAMPLES

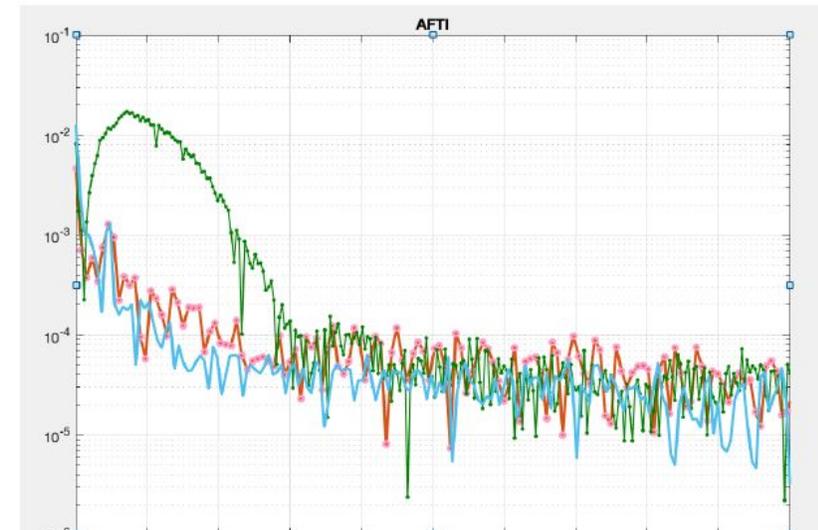
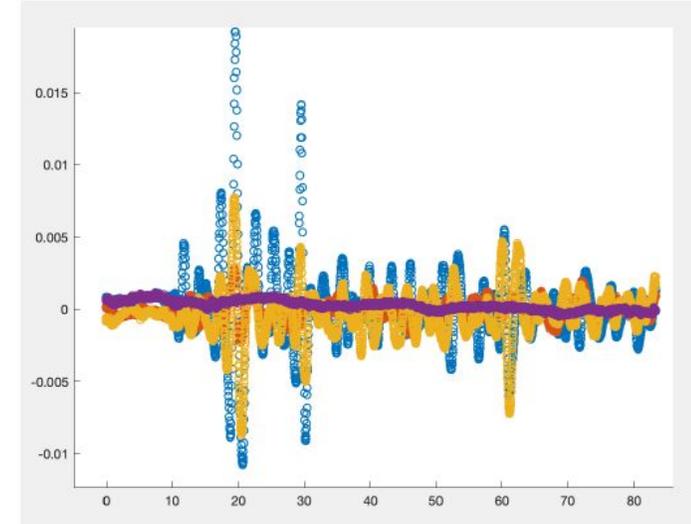
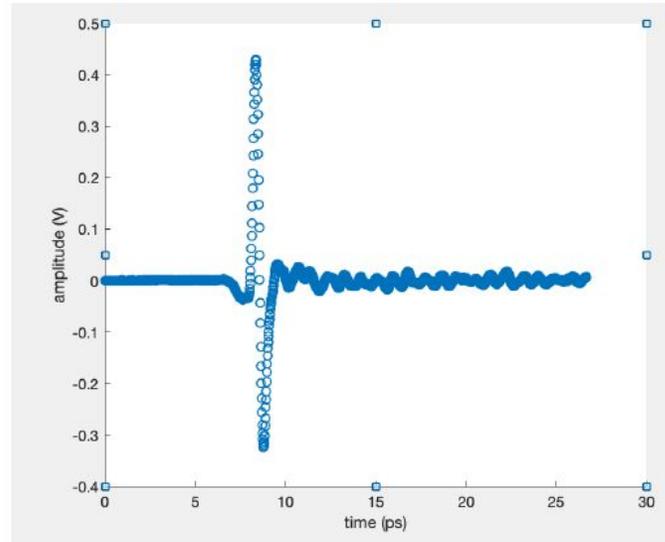
- samples prepared by: LIU Chang, SUSTech (China)
- 2+2 samples of  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$ , only one Sb-doped sample for higher resistivity
- thickness ranges from  $200\ \mu\text{m}$  to  $300\ \mu\text{m}$ , useful diameter  $\sim 1.5\ \text{mm}$
- investigated transmitted THz signal amplitude at 4 K
- transmitted signal not appreciable above noise level through the three tested samples
- **samples have low resistivity  $\sim \text{m}\Omega/\text{cm}$ !**



# Risultati 2022

## MEASUREMENTS WITH THE FIRST AND SECOND BATCH OF SAMPLES

- investigated transmitted THz signal amplitude at 4 K
  - transmitted signal not appreciable above noise level through the three tested samples
- **samples have low resistivity**  
 $\sim \text{m}\Omega/\text{cm}$



# AI\_MIGHT

Artificial Intelligence methods applied to Medical Images to enhance and personalize BNCT Treatment planning

RN – Setareh Fatemi - Grant 5

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte

- Pavia

## Anagrafica di Pavia

- |                    |           |         |
|--------------------|-----------|---------|
| • Setareh Fatemi   | AdR       | 1 FTE   |
| • Silva Bortolussi | PA        | 0.2 FTE |
| • Ian Postuma      | Tecnologo | 0.3 FTE |

FTE 2022: 1.5

# Goal del progetto

## Obiettivi

Il progetto AI\_MIGHT si concentra sull'utilizzo di metodi di Intelligenza Artificiale per il potenziamento dei sistemi di pianificazione del trattamento in BNCT. In particolare si focalizza sull'utilizzo delle Deep Neural Networks (DNN) per la segmentazione automatica di immagini CT ed MRI da utilizzare come input per i TPS in BNCT. Lo sviluppo di un sistema automatico di segmentazione delle immagini diagnostiche permette di agevolare il compito dei medici nel contornare le regioni tumorali, il procedimento di contornazione è solitamente lungo soprattutto quando il numero di immagini da analizzare è molto elevato. Inoltre, il sistema automatico di segmentazione, potrebbe essere di grande aiuto in particolare nella contornazione di immagini MRI che richiedono una expertise maggiore.

## Obiettivi Specifici

1. La creazione di due dataset di immagini, CT ed MRI focalizzate su due tipologie tumorali: i tumori Testa e Collo e il Glioblastoma
2. L'implementazione di un algoritmo di segmentazione delle immagini basato su DNN.
3. L'utilizzo delle segmentazioni automatiche come input di un TPS per la BNCT e il confronto dei risultati ottenuti su immagini di pazienti trattati con BNCT.

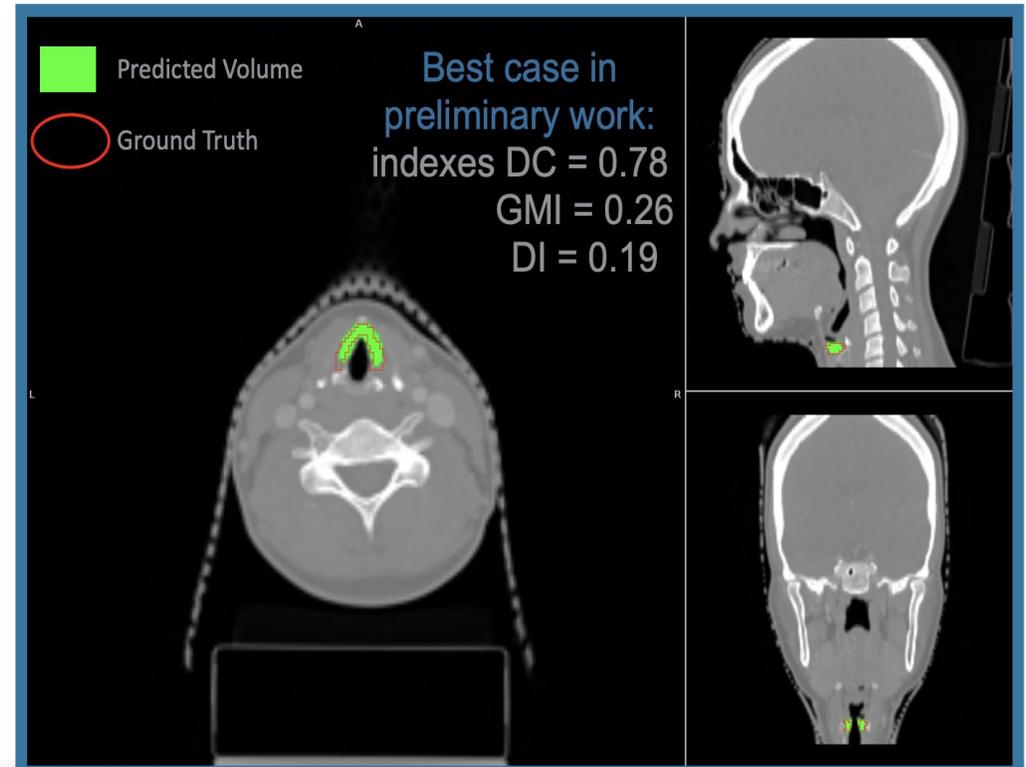
# Risultati 2022 – milestones (Pavia)

- M1: Pipeline CT per glioblastoma multiforme. Creazione dataset immagini 100%
- M2: Pipeline CT per tumori testa-collo. Creazione dataset immagini 100%
- M3: Pipeline MR per glioblastoma multiforme. Creazione dataset immagini e armonizzazione dati. 100%
- M4: Pipeline MR per tumori testa-collo. Creazione dataset immagini e armonizzazione dati. 100%
- M5: Training nnUnet su dati CT glioblastoma 30%
- M6: Training nnUnet su dati CT tumori testa/collo. 100%

## Analisi di 1934 immagini CT di tumore H&N



Train ID	Mean	Median	Low Median	High Median
Train_A	$0.58 \pm 0.23$	0.63	0.47	0.75
Train_B	$0.67 \pm 0.19$	0.73	0.60	0.80
Train_C	$0.70 \pm 0.19$	0.75	0.63	0.82



# Tesi e pubblicazioni

## ***Francesco Morosato - Tesi Magistrale - Dicembre 2022***

"Deep neural networks for the automatic segmentation of CT images of Head and Neck tumors: a preliminary study to enhance BNCT Treatment Planning System"

## **Partecipazioni a congressi**

Francesco Morosato - Young BNCT Researchers Meeting

online 14-18 November 2022

Setareh Fatemi - Young BNCT Researchers Meeting

online 14-18 November 2022



# ENTER\_BNCT

Establishing New Technologies for BNCT @CNAO

RL – Silva Bortolussi

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte

- Pavia (PI)
- LNL
- Torino
- LNF
- Ba

FTE 2022 PV: 8.6

## Anagrafica di Pavia

Altieri 0.4

Ballarini 0.2

Bortolussi 0.4

Ciocca 0.2

Magni 0.8

Postuma 0.6

Protti 0.3

Vercesi 0.3

Alberti 1

Anselmi-Tamburini 0.6

Bettellu 0.3

Calestani 0.2

Cansolino 0.4

Deagostino 1

Ferrari 0.4

Ferrarini 0.2

Geninatti-Crich 1

Stella 0.3

# 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

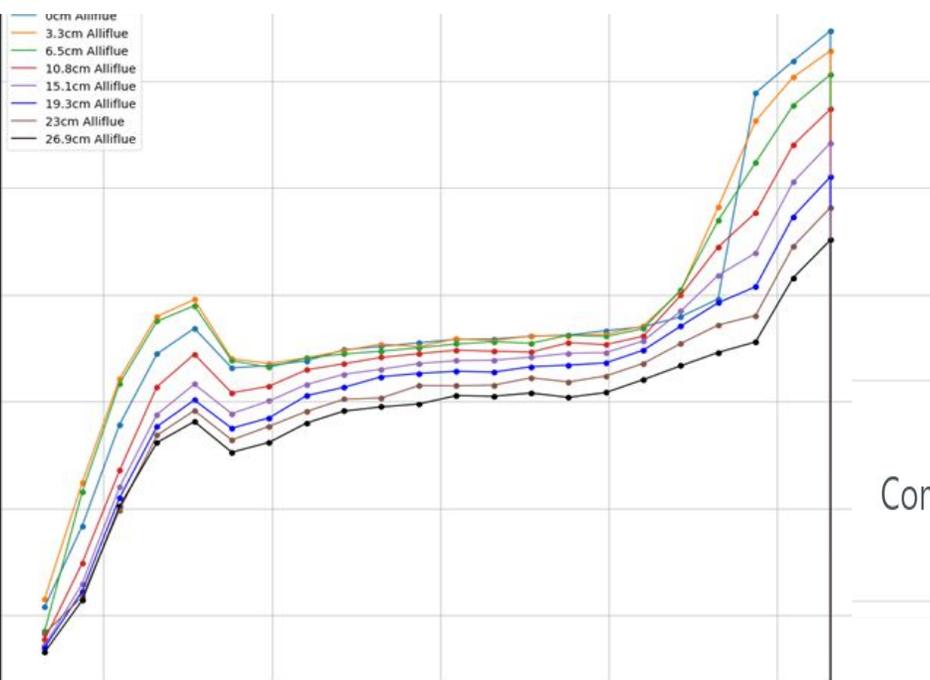
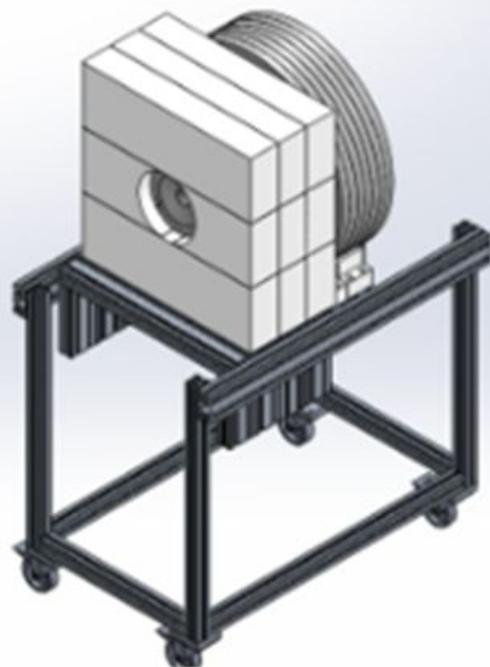
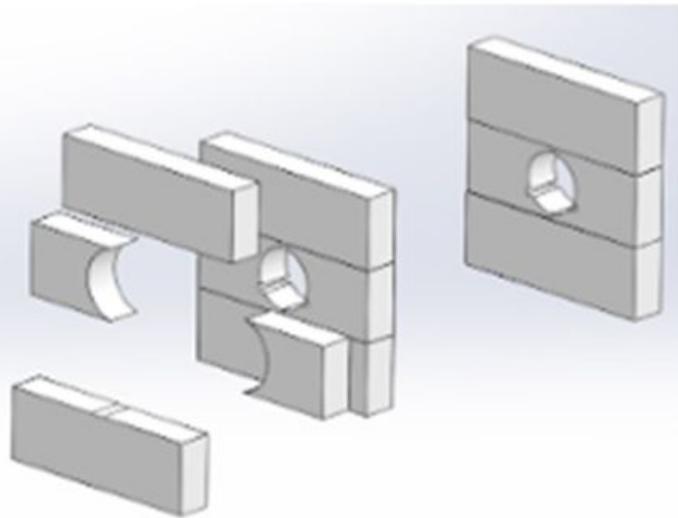
**WP2:** costruzione e caratterizzazione di un prototipo di Beam Shaping Assembly

**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

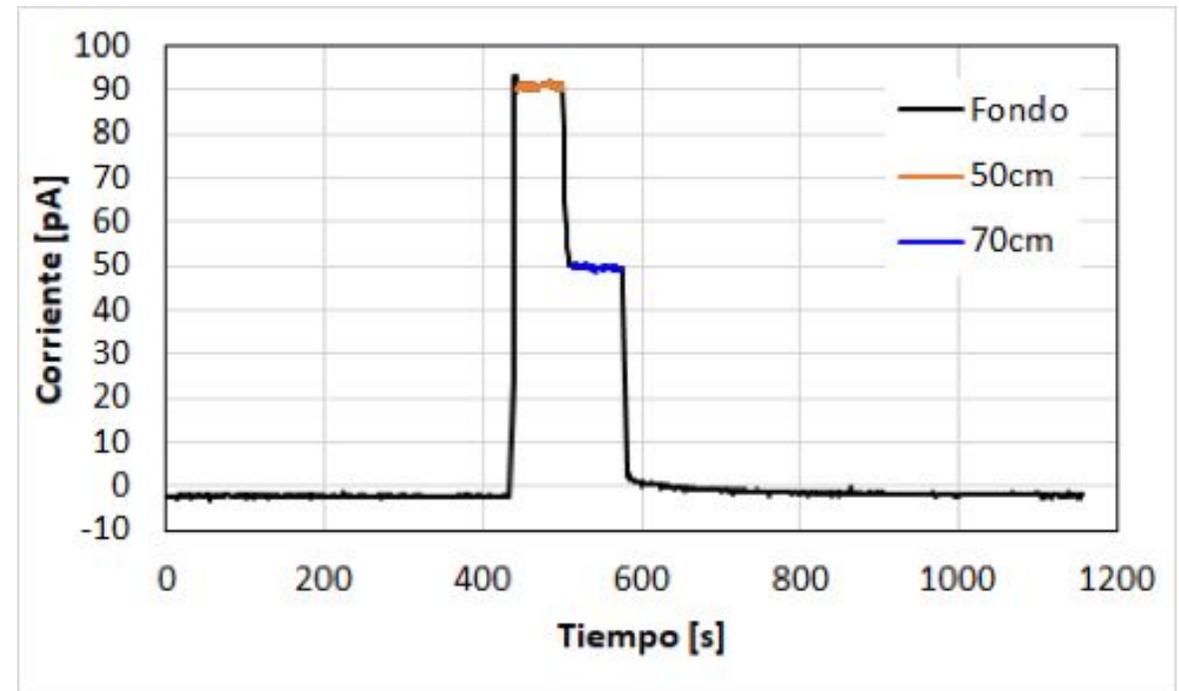
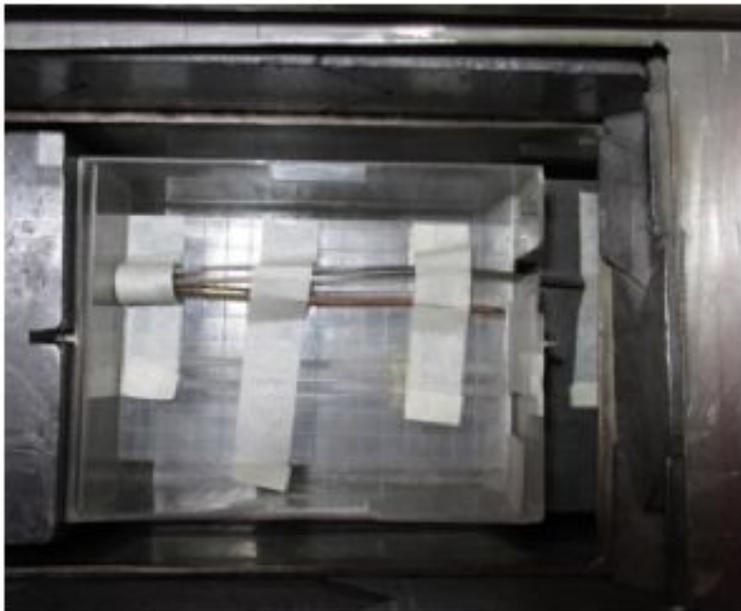


Completamento misure su prototipo di BSA <br> <br>

100%

Measurements of photon dose in a neutron field were carried out with an ionization chamber built in Buenos Aires by CNEA. The tests were performed at the RA-3 reactor of CNEA.

The detector worked correctly in the presence of a thermal neutron flux of the order of  $10^9$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> and gamma dose-rate was of the order of 1 Gy/h. No measurement in presence of a fast neutron field due to technical problems of the detector, which would have required the construction of a new detector



Characterization and preliminary measurements in a (n+ $\gamma$ ) field (the highly thermalized collimated neutron beam for Prompt Gamma Neutron Activation Analysis at LENA) of four CZT Frish Grid based gamma detectors, developed in collaboration with the Parma CNR start up due2lab s.r.l. for a real time SPECT of the dose distribution due to  $^{10}\text{B}$  capture reactions.

The preliminary measurements seem to confirm the suitability and very high performances of the chosen semiconductor technology (possibility of detecting  $^{10}\text{B}$  concentrations typical of clinical application).

Further studies are needed to consider the complex situation (in terms of intensity and quality of the radiation field) expected in the clinical BNCT environment.

# Tesi e pubblicazioni

---

Revision of the Cf-252 and D2O moderated Cf-252 reference neutron fields for use in radiation protection dosimetry (vol 184, 109433, 2021)

Mendez, R et al.

RADIAT  
PHYS CHEM

---

Measuring the near-target neutron field of a D-D fusion facility with the novel NCT-WES spectrometer

Bedogni, R et al.

EUR PHYS J  
PLUS

---

On neutron detection with silicon carbide and its resistance to large accumulated fluence

Bedogni, R et al.

EUR PHYS J  
PLUS

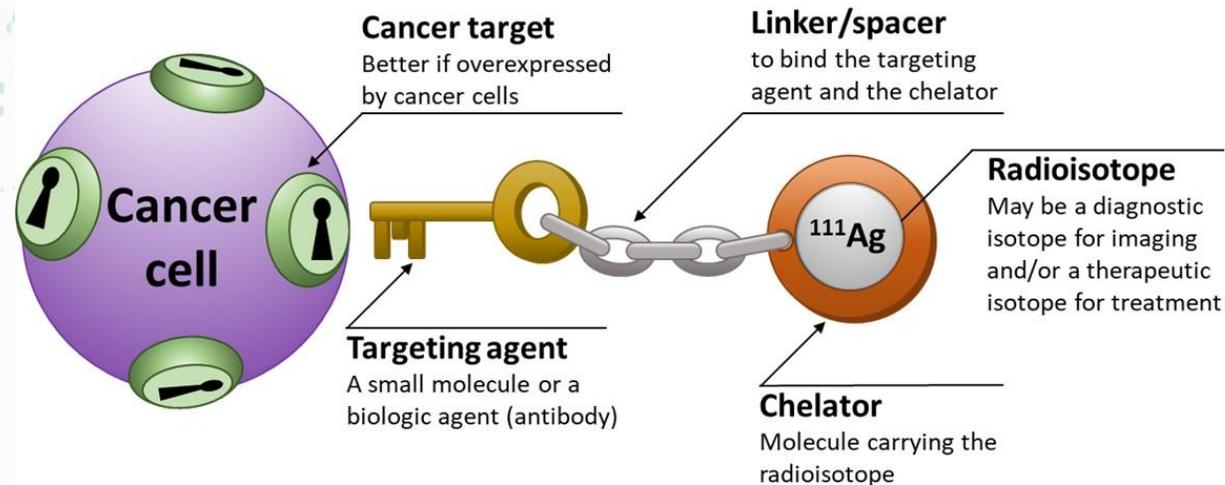
---

Experimental and computational studies for an Accelerator-Based Boron Neutron Capture Therapy clinical facility: a multidisciplinary approach	Magni Chiara	Universita' Di Pavia
Determinazione del flusso di neutroni termici dentro la cavità E_Libans mediante l'utilizzo di lamine ad attivazione	Riberti Marco	Universita' Di Torino
Studi dosimetrici per la BNCT del Glioblastoma Multiforme con acceleratore	Simeone Erica	Universita' Di Pavia
Experimental and computational neutron beam characterization at the CN facility of the INFN National Laboratory of Legnaro	Avesani Matilde	Universita' Di Pavia
CHARACTERIZATION OF DOSE CAPTURE CZT DETECTORS FOR BNCT SPECT AND FIRST NEUTRON FIELD RESPONSE MEASUREMENTS	Palmacci Federico	Universita' Di Pavia
Feature detection algorithms comparison for quantitative neutron capture radiography track detection	Re Enrico	Universita' Di Pavia

Boron Neutron Capture Therapy, a form of hadrontherapy mediated by neutrons	Silva Bortolussi	From Hadrons to Therapy: Fundamental Physics Driving new Medical Advances
Neutrons for cancer therapy	Silva Bortolussi	4th SUMMER SCHOOL on Neutron Detectors and Related Applications NDRA-2022
Hadrontherapy with BNCT	Silva Bortolussi	Trieste Next
First measurements using a preclinical BNCT-SPECT system based on CdZnTe detectors	Nicoletta Protti	Particle Therapy COoperative Group (PTCOG) 60 Conference
BNCT treatment verification by on-line prompt gamma measurement using CdZnTe (CZT) detectors	Nicoletta Protti	47th Annual Meeting of the European Radiation Research Society & XX Meeting of the Italian Radiation Research Society
Real-time treatment verification in BNCT by means of CdZnTe detectors	Nicoletta Protti	2022 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room Temperature Semiconductor Detector Conference
Research in Neutron Capture Therapy at University of Pavia and INFN	Saverio Altieri	4th Jagellonian Symposium on Advances in Particle Physics and Medicine
Developments towards an adequate description of the dose-response relationship in the context of BNCT glioblastoma treatments	Barbara Marcaccio	Young Researchers BNCT meeting 2022, no frontiers in BNCT
Feature detection algorithms comparison for quantitative neutron capture radiography track detection	Re Enrico	YBNCT 2022, no frontiers in BNCT
Desarrollos orientados a una descripción adecuada de la relación dosis-respuesta en el marco de los tratamientos de tumores cerebrales con BNCT.	Barbara Marcaccio	107° Reunión de la Asociación Física Argentina
NEUTRONI PER CURARE, Verso una realtà clinica.	Ian Postuma	Wired Health

# 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)

FTE 2022: 3,4

## Anagrafica di Pavia

Zenoni Aldo (RL) UniBs

Donzella Antonietta UniBs

Bodini Ileana UniBs

Paderno Diego UniBs

Villa Valerio UniBs

Gandini Andrea UniPv-LENA

Salvini Andrea UniPv-LENA

Zelaschi Fabio UniPv-LENA

# 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 nel reattore TRIGA Mark II. **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**.

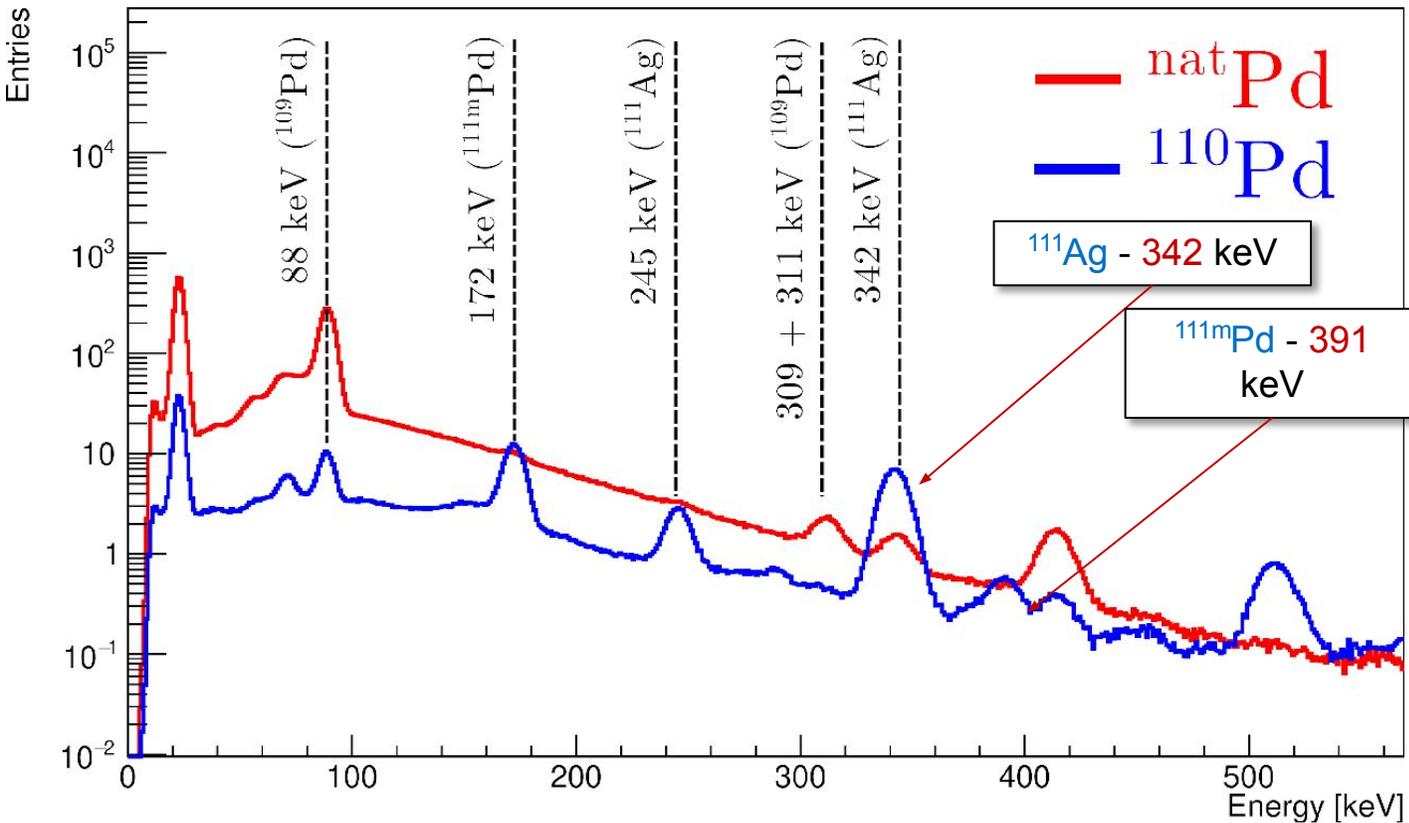
## Obiettivi di Pavia

- **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  $^{110}\text{Pd}$  con **caratterizzazione** spettroscopica 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 decadimento del bossolo di alluminio.
- **Produzione** 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 2022 – milestones (Pavia)

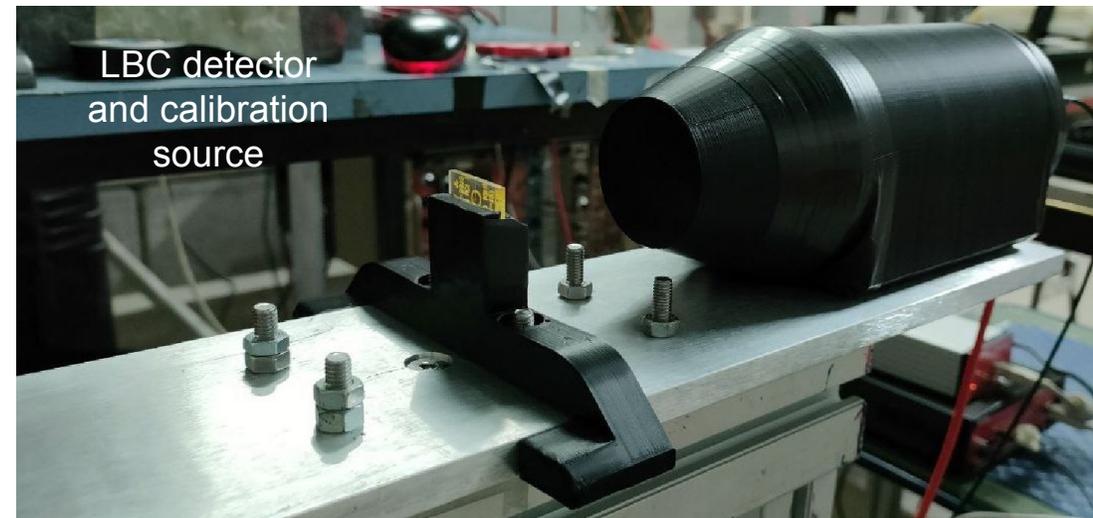
- **(100%) Modellazione** della produzione di  $^{111}\text{Ag}$  tramite irraggiamento di  $^{110}\text{Pd}$  in reattore effettuata con MCNPX-CINDER90, PHITS, FISPACT-II.
- **(100%) Progettazione e costruzione** di un dispositivo di estrazione dei campioni irraggiati dal CC del TRIGA (macchina OSTE).
- **(100%) Irraggiamenti di test** di bersagli di  $^{\text{nat}}\text{Pd}$  e  $^{110}\text{Pd}$  arricchito.
- **(100%) Studio e realizzazione di un rivelatore** (scintillatore inorganico LBC: Lanthanum BromoChloride) per la caratterizzazione spettroscopica dei campioni irraggiati di  $^{110}\text{Pd}$  e la misura del  $^{111}\text{Ag}$  prodotto
- **(80%) Produzione sistematica** di  $^{111}\text{Ag}$  in reattore con **separazione radiochimica**  $^{111}\text{Ag} - ^{\text{nat}}\text{Pd}$  e recupero del palladio.

# Un nuovo rivelatore LBC per Isolpharm

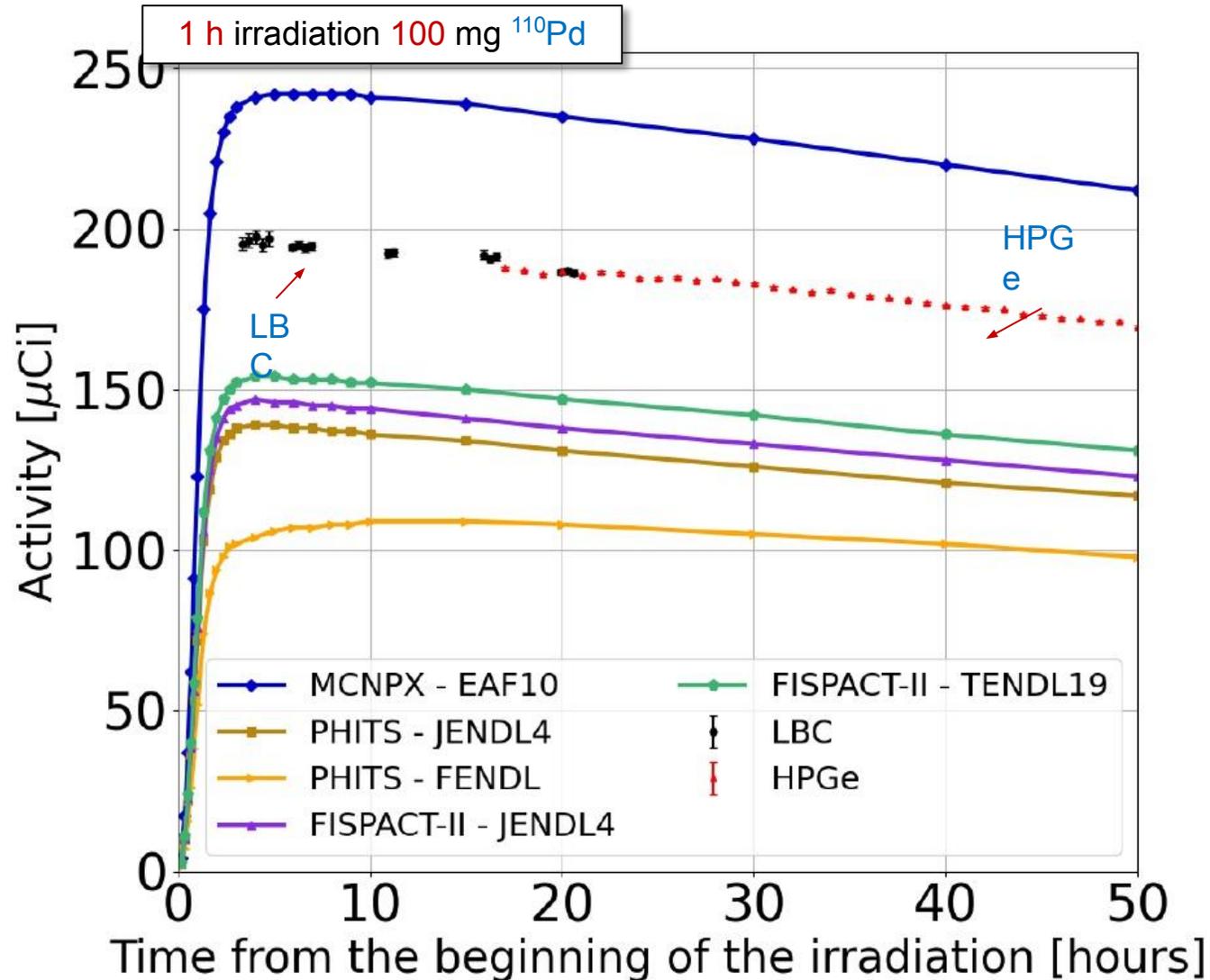


## Caratteristiche principali del rivelatore LBC

- Scintillatore inorganico **Lantanum Bromo-Cloride (LBC)**
- Sarà usato anche a **SPES-ISOLPHARM** per controllo di qualità
- Ratei di acquisizione **elevati**
- **Compatto, portatile** e **facile** da utilizzare
- **Buona** risoluzione energetica (**3.08%** at **661 keV**)
- **Poco costoso** rispetto all'utilizzo di **HPGe**
- **Robusto** e resistente alla radiazione



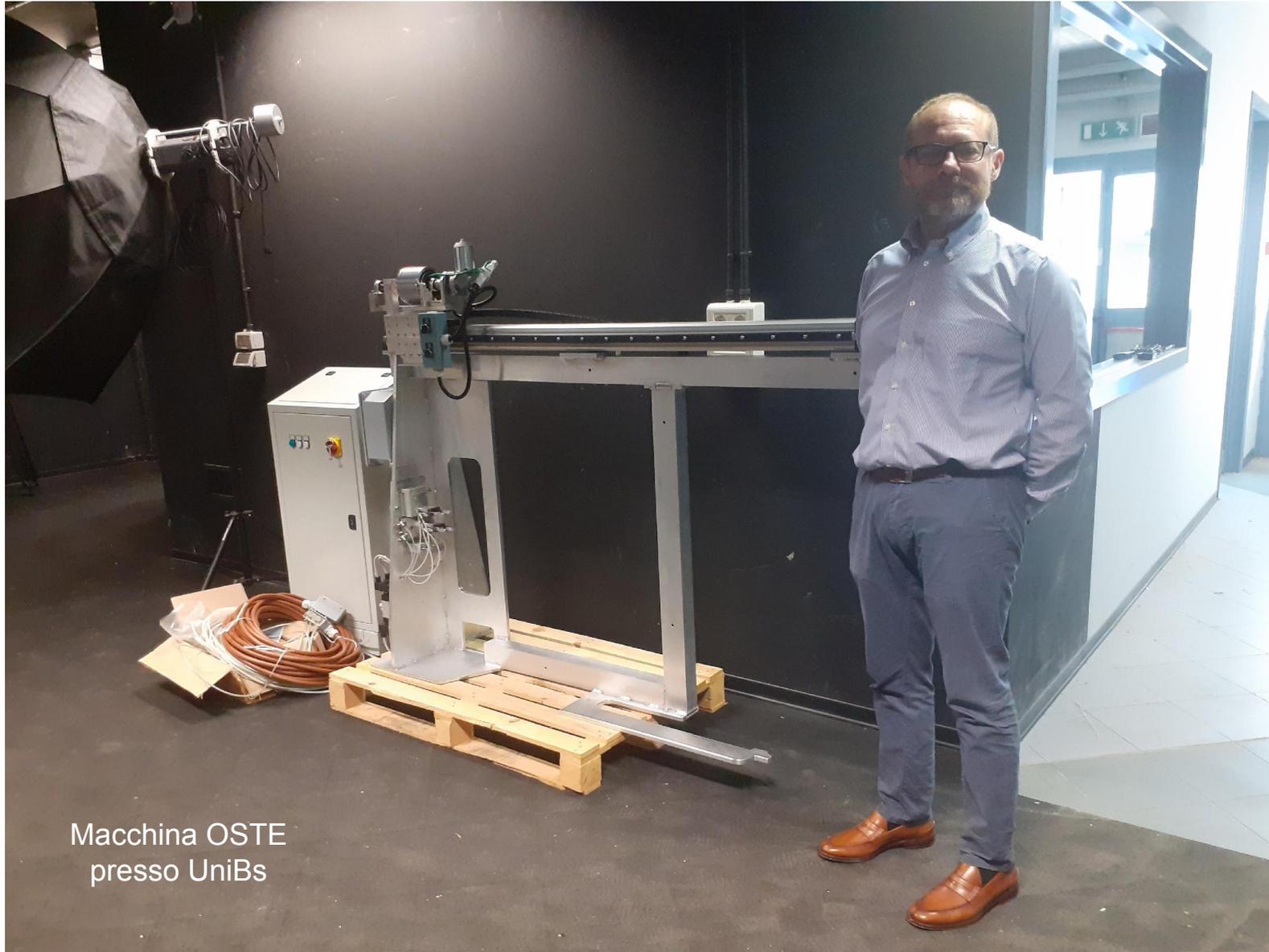
# Modellazione della produzione di $^{111}\text{Ag}$ nel TRIGA



Confronto della produzione di test di  $^{111}\text{Ag}$  nel reattore TRIGA con le previsioni di diversi **codici** di calcolo e **librerie** di sezioni d'urto.

- Ci sono evidenti **inaccuratezze** delle librerie di sezioni d'urto disponibili
- Il confronto permette una **normalizzazione** delle previsioni di produzione del  $^{111}\text{Ag}$  al TRIGA

# Dispositivo automatico di estrazione dei campioni irraggiati dal CC



Macchina OSTE  
presso UniBs

Pronto per l'installazione al  
LENA per uso in ADMIRAL

Estrazione automatica del  
bossolo di alluminio e  
separazione bossolo campione

Permette di non sprecare il 50%  
del  $^{111}\text{Ag}$  prodotto attendendo il  
«raffreddamento» del bossolo

# Publicazioni e tesi 2022-23

- L. Morselli et al. *“Production and characterisation of  $^{111}\text{Ag}$  radioisotope for medical use in a TRIGA Mark II nuclear research reactor”*, Applied Radiation and Isotopes 197 (2023) 110798
- A. Andrighetto et al., *“Low energy radioactive ion beams at SPES for nuclear physics and medical applications”*, Nuclear Inst. and Methods B, 541 (2023) 236
- E. Vettorato et al., *“A new production method of high specific activity radionuclides towards innovative radiopharmaceuticals: the ISOLPHARM project”*, Rad Conference Proceedings, Vol. 6 (2022) 8
- S. Corradetti et al., *“Current status of the ISOLPHARM Project at LNL: a new production method of high specific activity medical radionuclides”*, submitted to Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.

## ***Tesi triennali:***

- M. Ronzoni, *Applicazione dei principi della radioprotezione nel contesto del progetto ISOLPHARM per lo sviluppo di radiofarmaci innovativi*, Università degli Studi di Brescia, a.a. 2022-2023

**Altri lavori pubblicati nelle Task2 (Radiochimica) e Task3 (Biologia)**



# NEPTUNE

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 2022 3.4

# Goal del progetto

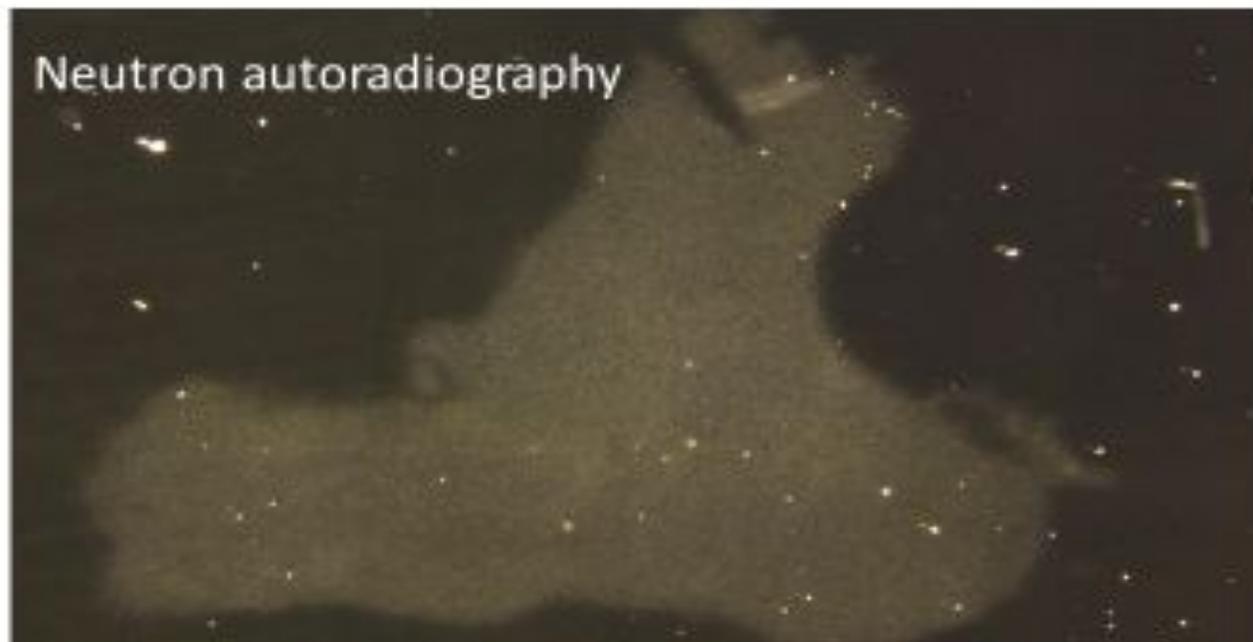
## Obiettivi generali

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  $19F$ -BPA per confronto con misure MRI condotte a Roma<sup>1</sup> e misure di metabolomica condotte a Caserta

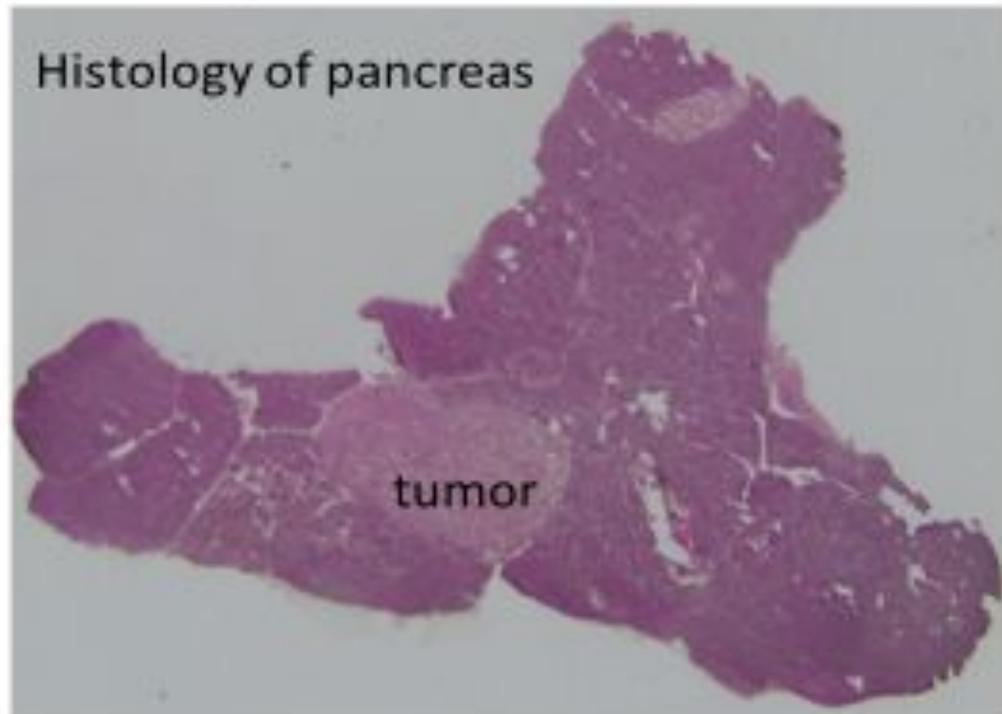
Neutron autoradiography



About 1 ppm in normal pancreas  
Close to detection limit

No differential uptake measured  
in pancreas tumour maybe due to  
short time between infusion of  
FBPA and sacrifice

Histology of pancreas







# NEXT\_AIM

NEXT\_Artificial Intelligence in Medicine

RL – Alessandro Lascialfari

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte

- Pisa (RN – A. Retico)
- Bari
- Bologna
- Cagliari
- Catania
- Firenze
- Genova
- LNS
- Milano
- Napoli
- Padova
- Pavia

## Anagrafica di Pavia (2022)

Brero Francesca - postdoc	0.3
Cabini Raffaella – PhD	0.3
Figini Silvia, PO	0.2
Filibian Marta – tecnico D	0.1
Lascialfari Alessandro-PO	0.2
Mariani Manuel-RU	0.2
Negri Andrea-PA	0.1
Porru Margherita – PhD	0.1
Postuma Ian-postdoc	0.2
Protti Nicoletta-RTDB	0.1
Robustelli Test Agnese - PhD	0.5 (2023)

FTE 2022: 1.8

# Goal del progetto

## Obiettivi generali

- Take steps towards developing robust and explainable AI algorithms and validating them on realistic use cases in the medical field

In fact, a large variety of AI-based algorithms have already been developed to analyse medical images and data. Their potential to improve clinical workflows has not yet been fully exploited due to:

- the lack of model robustness or generalizability
- the lack of transparency

## Obiettivi di Pavia

- Continuation of lung study for COVID-19
- DL study about fat fraction and water-T2 in facio-scapulo-humeral dystrophy, to see disease evolution (Mondino)
- Study of lung tumors (BlueSky, S. Matteo): radiomics features vs treatments
- MRI+CT on lung : comparison of different software and among MRI and CT
- Instructions about available software resources and usage
- SW package release instructions

# Risultati 2022 – milestones (Pavia)

## milestones 2022 (of the whole project)

31 Dec	M1.1	Identification of methodological pitfalls in case of small datasets
31 Dec	M2.1	Identification of explainability requirements for medical applications
31 Dec	M3.1	Identification of data samples for practical use cases and fist tests
30 Jun	M4.1a	Identification of available resources and usage instructions
31 Dec	M4.1b	SW package release instructions
31 Dec	M5.1	Workshop organization: "AI methods and applications in Medical Physics"

## milestones 2022 (Pavia)

31 Dec	M1.1	Identification of methodological pitfalls in case of small datasets
31 Dec	M3.1	Identification of data samples for practical use cases and fist tests
30 Jun	M4.1a	Identification of available resources and usage instructions
31 Dec	M4.1b	SW package release instructions
31 Dec	M5.1	Workshop organization: "AI methods and applications in Medical Physics"

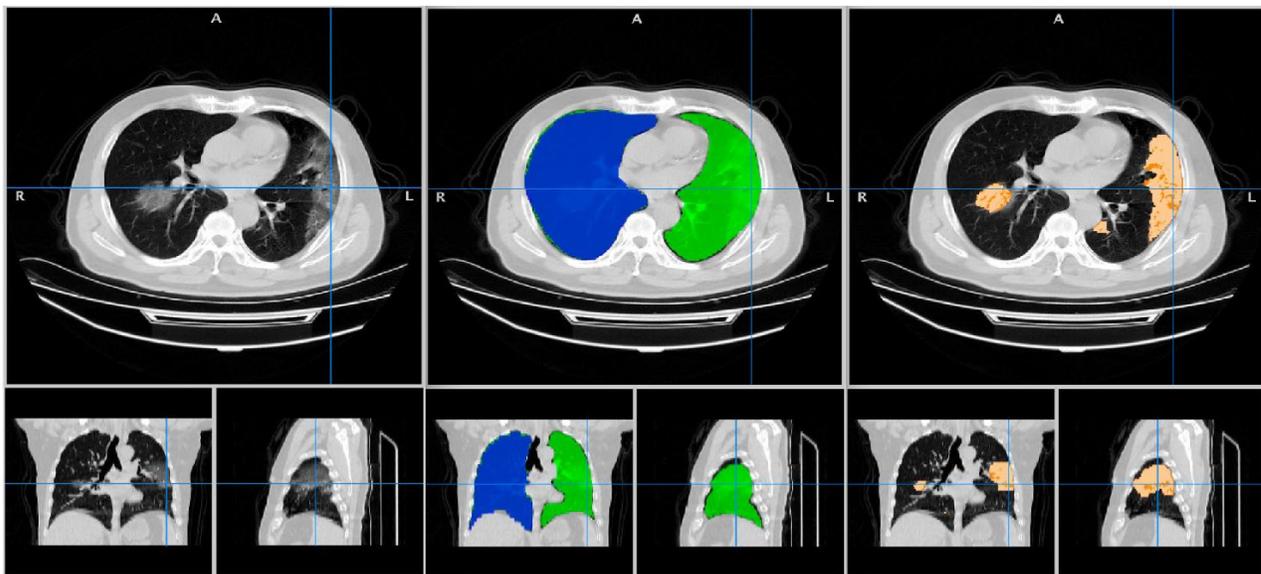
## sintesi risultati 2022 (Pavia)

- Multicentric lung study for COVID-19
- Preliminary DL study about fat fraction and water-T2 in facio-scapulo-humeral dystrophy, to see disease evolution
- Study of lung tumors (BlueSky): radiomics features vs treatments did not say stable results, at the moment; problems of harmonization
- MRI+CT on lung : preliminary comparison of different software and among MRI and CT said that CT and MRI are complementary and that 2 commercial software are almost equivalent
- Available resources and usage instructions : done
- SW package release instructions : released

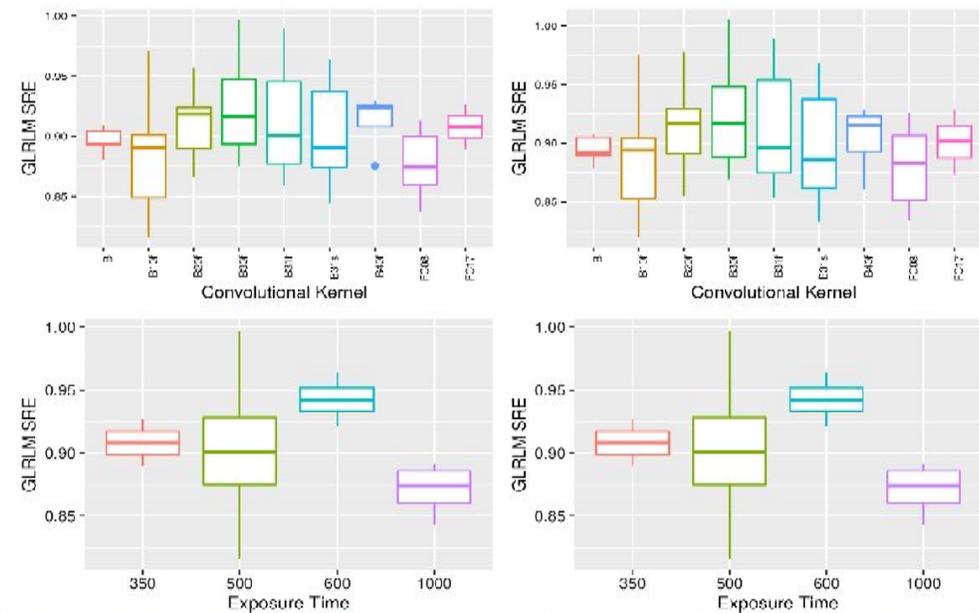
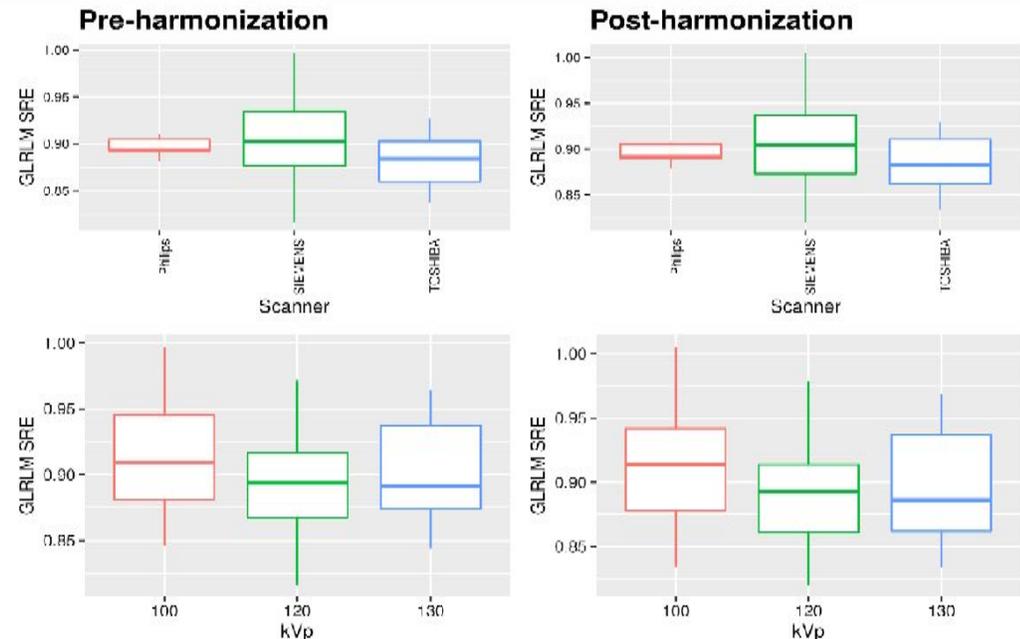
# Risultati 2022 (Pavia)

A multicenter evaluation of a deep learning software (*LungQuant*) for lung parenchyma characterization in COVID-19 pneumonia (**published 2023**)

**Fig. 1** The output of *LungQuant* for a lung computed tomography scan. Left: original input image with axial, coronal and sagittal projections. Center: lung mask produced by *LungQuant* with different labels for the right and left lungs. Right: lesion masks produced by *LungQuant* for the ground-glass opacities (light orange) and the consolidations (dark orange)

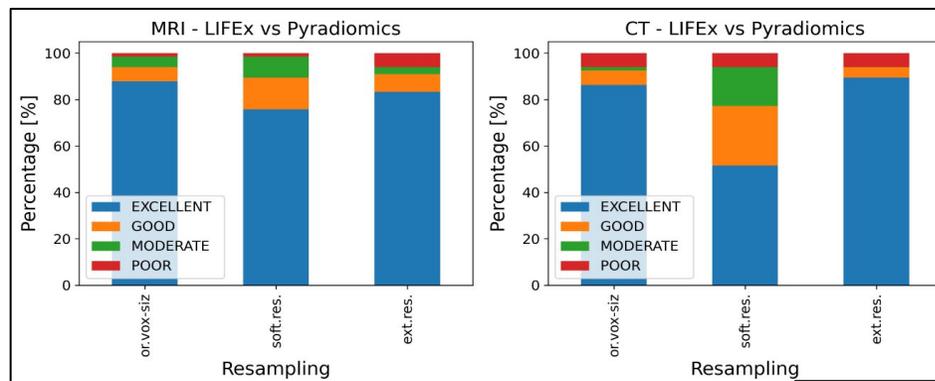
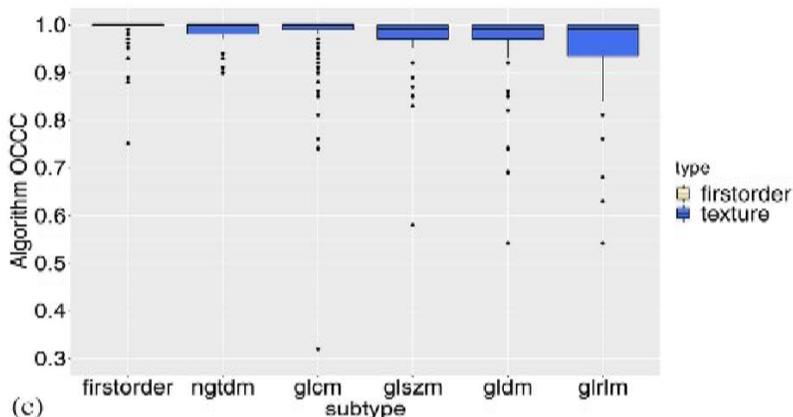
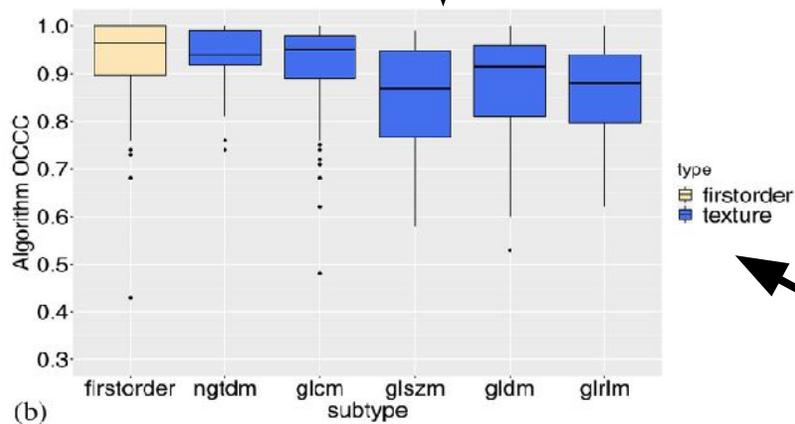
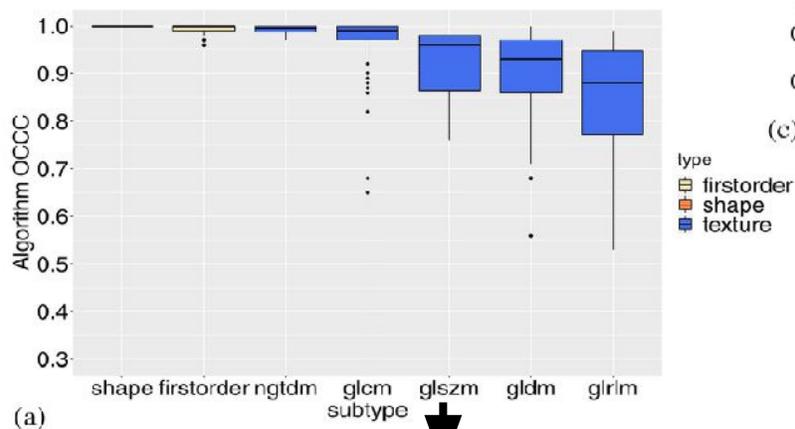


Preliminary report on harmonization of features extraction process using the ComBat tool in the multi-center "Blue Sky Radiomics" study on stage III unresectable NSCLC



# Risultati 2022 (Pavia)

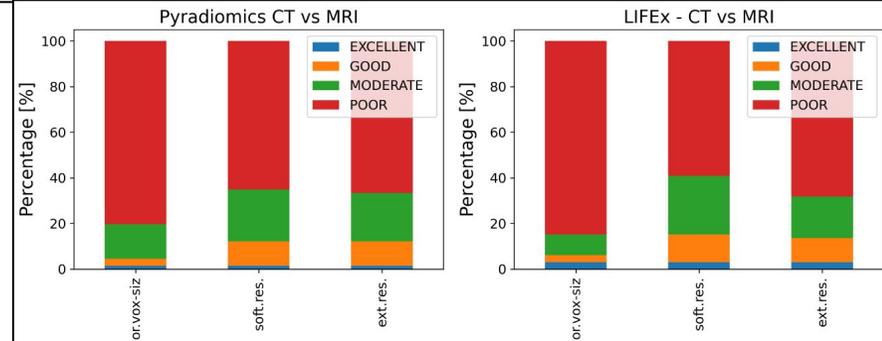
Reproducibility of radiomic features in CT images of NSCLC patients: an integrative analysis on the impact of acquisition and



## MRI+CT on lung tumor

### Comparisons

- Pyradiomics and LifeX give comparable results
  - MRI and CT are complementary
- Lab NMR experiments on lung tumor excised :
- Multiexponential relaxation in T2
  - Almost single exponential in T1



# Tesi e pubblicazioni

- Laurea Magistrale in Scienze Fisiche, 29 Aprile 2022, “Immagini di Diffusion Tensor Imaging in un modello preclinico di SLA: sviluppo di una pipeline di post-processing” - Angelo Giannone
- Laurea Magistrale in Scienze Fisiche, 29 Aprile 2022, “Implementation of nnU-Net: a Convolutional Neural Network for automatic segmentation of lung cancer trained on public and private data” - Sara Panebianco
- Laurea Magistrale in Scienze Fisiche, 22 Settembre 2022, “Studio delle proprietà rilassometriche e radiomiche in pazienti affetti da carcinoma polmonare. Indagine preliminare per lo sviluppo di un fantoccio MRI dedicato” - Agnese Robustelli Test
- Laurea Triennale in Fisica, Ottobre 2022, “Spettroscopia a Risonanza Magnetica per lo studio del metabolismo cerebrale in un modello sperimentale di infiammazione del colon” – Matteo Ronchi
- Dottorato in Fisica, 20 Luglio 2022, “From grey-levels to numbers Investigation of radiomic feature robustness in CT images of lung tumours” - Lisa Rinaldi

- “Preliminary report on harmonization of features extraction process using the ComBat tool in the multi-center “Blue Sky Radiomics” study on stage III unresectable NSCLC”, R. F. Cabini, F. Brero, A. Lancia, C. Stelitano, O. Oneta, E. Ballante, E. Puppo, M. Mariani, E- Ali, V. Bartolomeo, M. Montesano, E. Merizzoli, D. Aluia, F. Agustoni, G. M. Stella, R. Sun, L. Bianchini, E. Deutsch, S. Figini, C. Bortolotto, L. Preda, A. Lascialfari and A. R. Filippi, *Insights into Imaging* (2022) 13:38
- "Quantification of pulmonary involvement in COVID-19 pneumonia by means of a cascade of two U-nets: Training and assessment on multiple datasets using different annotation criteria." Lizzi, Francesca, Abramo Agosti, Francesca Brero, Raffaella Fiamma Cabini, Maria Evelina Fantacci, Silvia Figini, Alessandro Lascialfari et al. *International journal of computer assisted radiology and surgery* 17, no. 2 (2022): 229-237.
- “Reproducibility of radiomic features in CT images of NSCLC patients: an integrative analysis on the impact of acquisition and reconstruction parameters”, Lisa Rinaldi, Simone P. De Angelis, Sara Raimondi, Stefania Rizzo, Cristiana Fanciullo, Cristiano Rampinelli, Manuel Mariani, Alessandro Lascialfari, Marta Cremonesi, Roberto Orecchia, Daniela Origi and Francesca Botta, *European Radiology Experimental* 6-2 (2022)

# 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	0.3
RN - Alessandro Lascialfari - PO	0.4
Francesca Brero – Postdoc	0.3
Marta Filibian – Tecnico D	0.2

**FTE 2022- PV: 1.2**

# Goals del progetto

## Obiettivi generali

\* Terapia per il tumore al pancreas: studio della possibile azione cooperativa della Proton Therapy (PT) e della Hyperthermia (Hyp) e/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

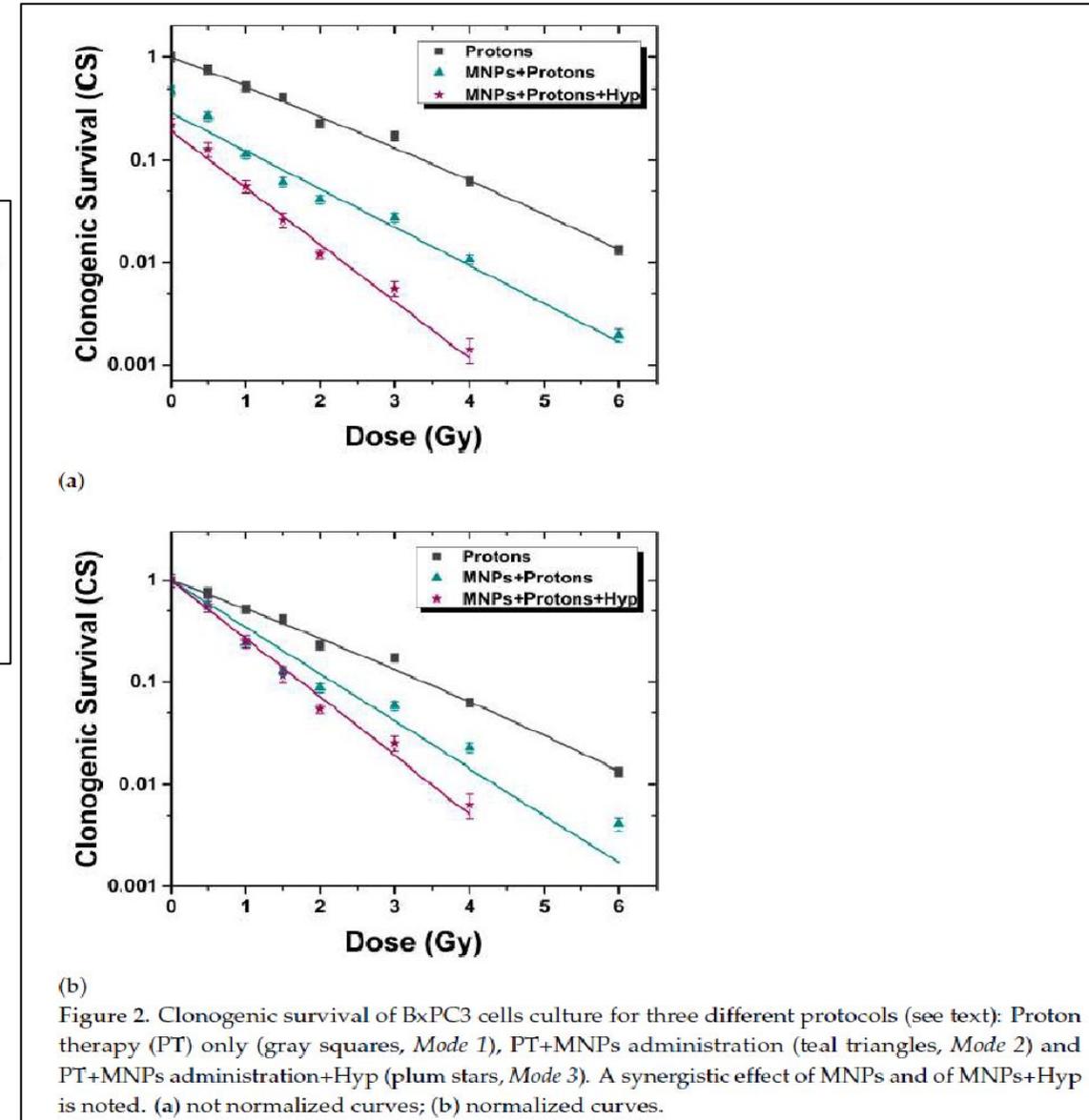
# Risultati 2022 – Milestones (Pavia)

Due Date	Description	Percentage
2022-03-31	Process of synthesis/characterization of magnetic nanoparticles for different experiments (magnetic properties like Ms, Hc, Mr, T1, T2; radiotracers, SEM+CLSM+ICP, AFM, DLS, etc). Best MNPs in terms of dimensions, coating, SAR (> 60 W/g of Fe).	100%
2022-12-31	Results of 5 <sup>^</sup> proton and 4 <sup>^</sup> photon experiments about clonogenic survival, kinetics of DSB-rejoining and Apoptosis(CS vs dose D and DNA-double- strand-breaks vs dose curves), for the treated tumour pancreatic cells.	100%

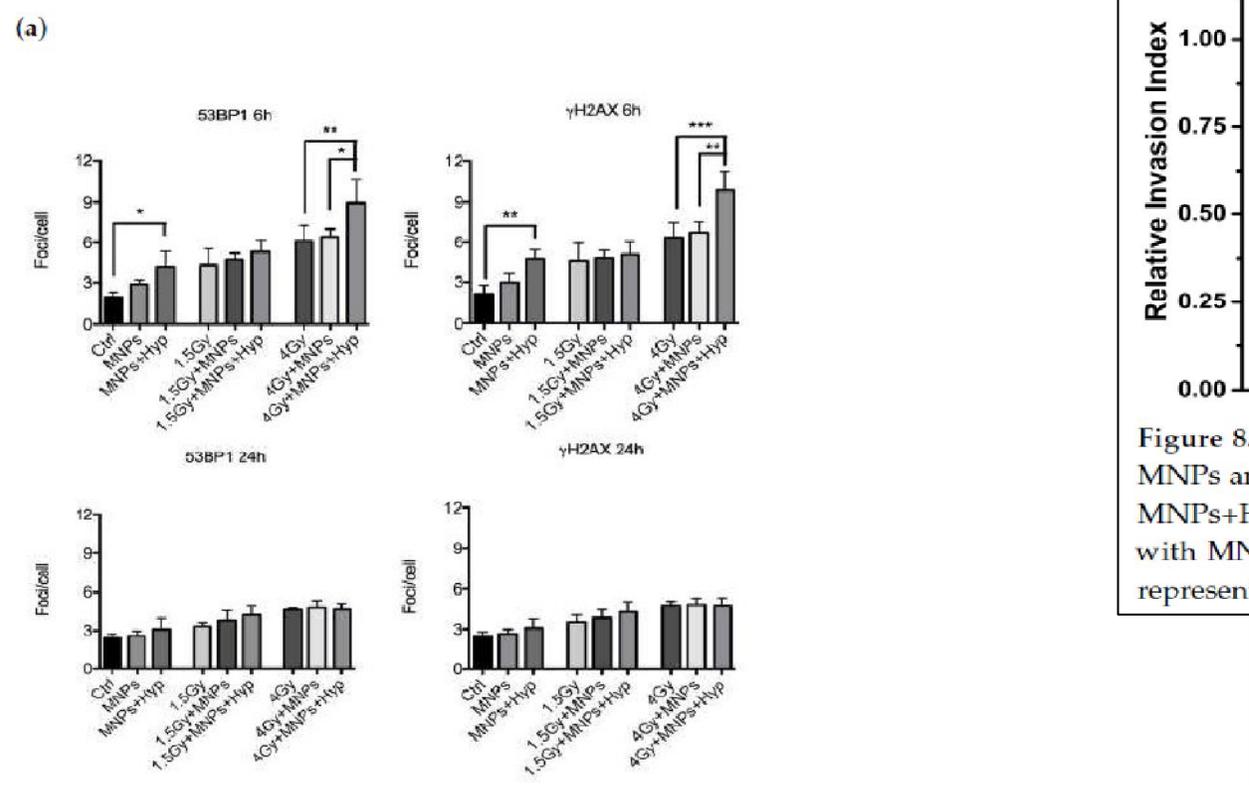
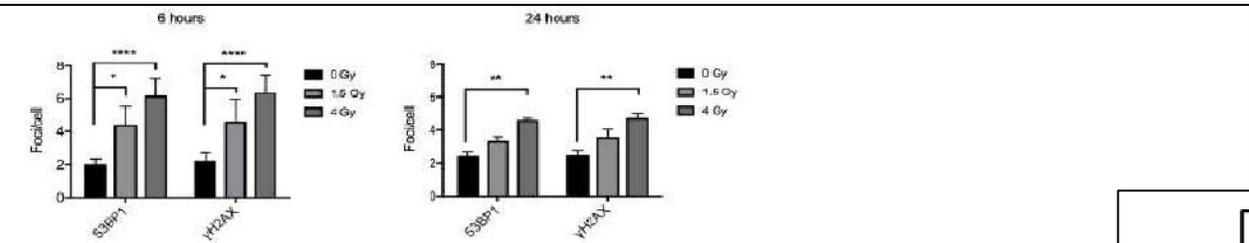
# Risultati 2022

## Proton Therapy, Magnetic Nanoparticles and Hyperthermia as Combined Treatment for Pancreatic BxPC3 Tumor Cells

- (a) The combination of proton therapy, MNPs uptake and hyperthermia is very effective in reducing the clonogenic survival, till levels of a few percent at high (>3 Gy) doses, and gives better results with respect to (photon or proton) irradiation only;
- (b) The effect of the combined therapies (PT+MNPs+Hyp) is synergistic, as shown by the change of the fitting model of clonogenic survival data (from linear quadratric to linear), after MNPs are added and Hyp applied;
- (c) The number of DNA DSBs is increased at 6 h after the combined PT+MNPs+Hyp treatments, in agreement with clonogenic survival data;
- (d) Combined PT, MNPs uptake and Hyp increases the production of ROS; the values of ROS generation after irradiation and following hyperthermia are  $0.90 \pm 0.09$  (photons) and  $0.90 \pm 0.09$  (protons) compared to  $0.50 \pm 0.05$  radiation alone; this also contributes to cytotoxic cellular effects and to a wide variety of lesions including DNA damage;
- (e) A radiosensitizing effect of MNPs combined with proton/photon irradiation has been proven by analyzing the dose enhancement factor that, for the combined therapy, resulted in being increased till the values  $\sim 2.8 \pm 0.3$  (photons) and  $2.5 \pm 0.3$  (protons), estimated at 10% of survival. The DEF values are almost twice the ones for cells subjected to radiations only;
- (f) The resulting proton therapy RBE is  $\sim 1.3$ , as a combination of MNP-induced radiosensitization effects and dose enhancement factor.



# Risultati 2022



(b) Figure 5. Analysis of 53BP1 and  $\gamma$ -H2AX foci induction after 6 h and 24 h, in BxPC3 pancreatic tumor cells, from: (a) the exposure to 1.5 and 4 Gy of proton irradiation alone; (b) the same proton irradiation in combination with MNP uptake and/or Hyp. \* indicates  $p$ -value  $p < 0.05$ , \*\* indicates  $p < 0.01$ , \*\*\* indicates  $p < 0.005$ , \*\*\*\* indicates  $p < 0.0001$  (one-way ANOVA and Tukey's multiple comparison post-test).

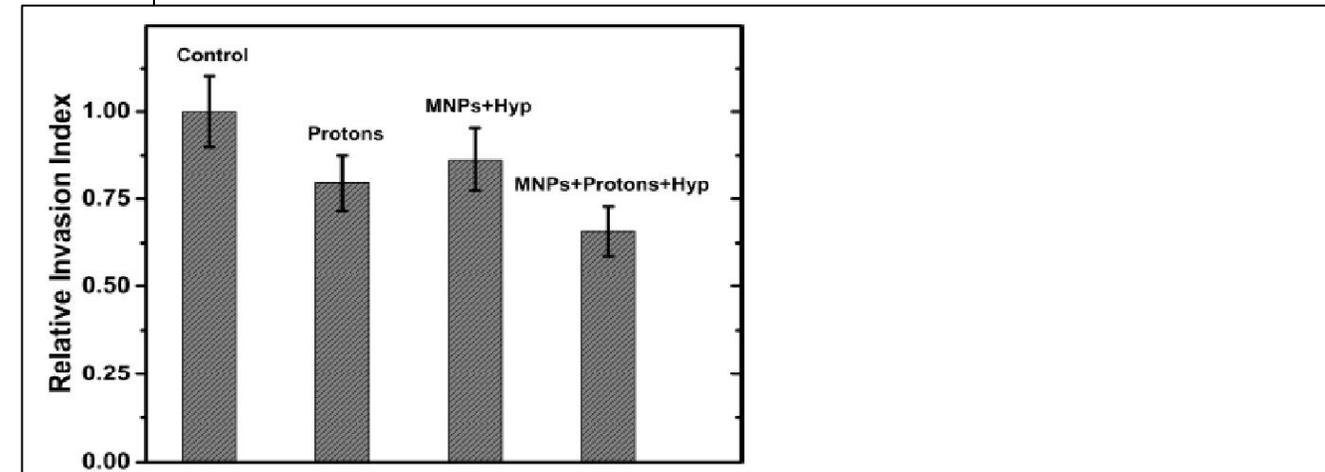


Figure 8. The relative invasion index of BxPC3 cells exposed to protons, and treated or not with MNPs and hyperthermia. Control: untreated cells; Protons: cells irradiated with 4 Gy of protons; MNPs+Hyp: cells with MNP-50  $\mu$ g/mL and hyperthermia treatment; MNPs+Protons+Hyp: cells with MNP-50  $\mu$ g/mL, irradiated with 4 Gy of protons and hyperthermia treatment. Error bars represent one standard error of the mean of two experiments.

# Tesi e Pubblicazioni

“Tailoring the Magnetic and Structural Properties of Manganese/Zinc Doped Iron Oxide Nanoparticles through Microwaves-Assisted Polyol Synthesis”, M. Porru , M. del Puerto Morales, A. Gallo-Cordova, A. Espinosa, M. Moros, F. Brero, M. Mariani, A. Lascialfari, and J. G. Ovejero, *Nanomaterials* 12, 3304 (2022)

“Proton Therapy, Magnetic Nanoparticles and Hyperthermia as Combined Treatment for Pancreatic BxPC3 Tumor Cells”, F. Brero, P. Calzolari, M. Albino, A. Antoccia, P. Arosio, F. Berardinelli, D. Bettega, M. Ciocca, A. Facoetti, S. Gallo, F. Groppi, C. Innocenti, A. Laurenzana, C. Lenardi, S. Locarno, S. Manenti, R. Marchesini, M. Mariani, F. Orsini, E. Pignoli, C. Sangregorio, F. Scavone, I. Veronese and A. Lascialfari, *Nanomaterials* 13, 791 (2023)

“Nanosized T1 MRI Contrast Agent Based on a Polyamidoamine as Multidentate Gd Ligand”, Paolo Arosio, Davide Cicolari, Amedea Manfredi, Francesco Orsini, Alessandro Lascialfari, Elisabetta Ranucci, Paolo Ferruti and Daniela Maggioni, *Molecules* 27, 174 (2022); [doi.org/10.3390/molecules27010174](https://doi.org/10.3390/molecules27010174)



# REMIX

Research on Emerging Medical radionuclides from the X-sections

RL – Andrea Fontana

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- LNL
- PD
- **PV**
- MI
- FE

## Anagrafica di Pavia

Carante	RU	0.3
Colombi	DOTT	1.0
Fontana	RI	0.7

FTE 2022: **2.0**

# Goal del progetto

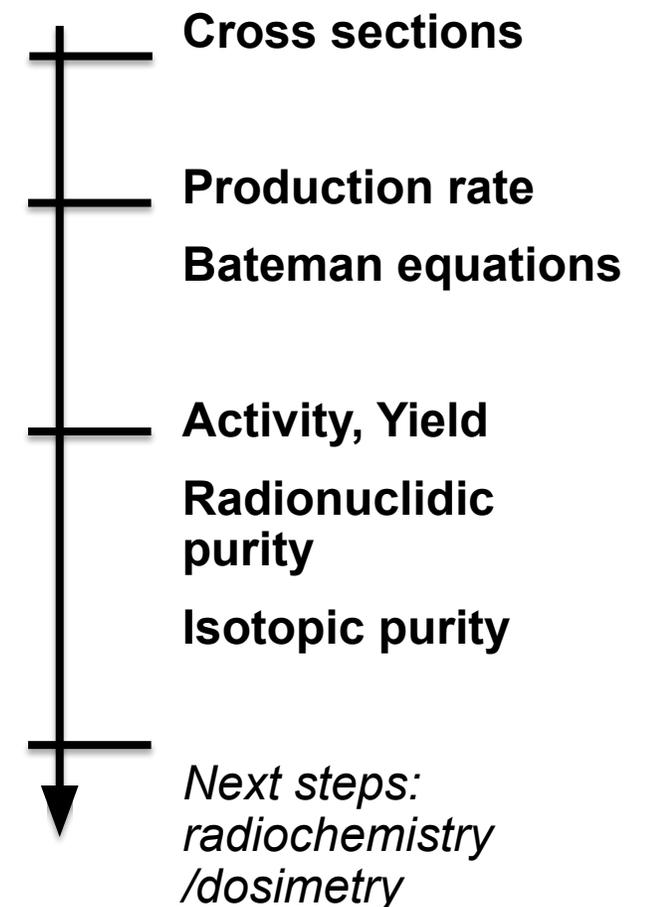
## Obiettivi generali

- The goal of this project is to study the **production routes** of <sup>47</sup>Sc and **Terbium-isotopes** (direct reaction and generator).
- Motivation: **theranostic** applications in Nuclear Medicine

Isotope	Half-life	IMAGING		THERAPY		
		$\beta^+$ $E_{\text{average}}$ [keV] (I)	x and $\gamma$ with I > 10% E [keV] (I)	$\beta^-$ $E_{\text{average}}$ [keV] (I)	Conv. & Auger electrons (>1 keV) $E_{\text{average}}$ [keV] (I)	$\alpha$ E [keV] (I)
<sup>43</sup> Sc	3.9 h	476 (88%)	372 (23%)	–	–	–
<sup>44</sup> Sc	4.0 h	632 (94%)	1157 (100%)	–	–	–
<sup>47</sup> Sc	3.35 d	–	159 (68%)	162 (100%)	–	–
<sup>149</sup> Tb	4.1 h	730 (7%)	42–50 (69%), 165 (26%), 352 (29%), etc.	–	32 (85%)	3967 (17%)
<sup>152</sup> Tb	17.5 h	1140 (20%)	42–50 (65%), 344 (64%)	–	36 (69%)	–
<sup>155</sup> Tb	5.32 d	–	42–50 (108%), 87 (32%), 105 (25%)	–	19 (204%)	–
<sup>161</sup> Tb	6.89 d	–	45–53 (39%), 75 (10%)	154 (100%)	19 (227%)	–

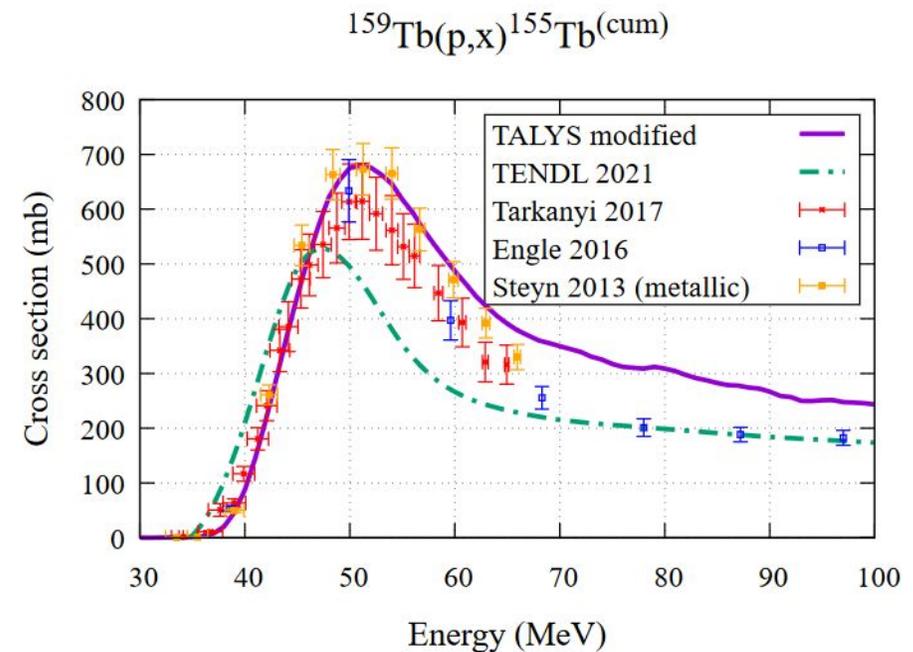
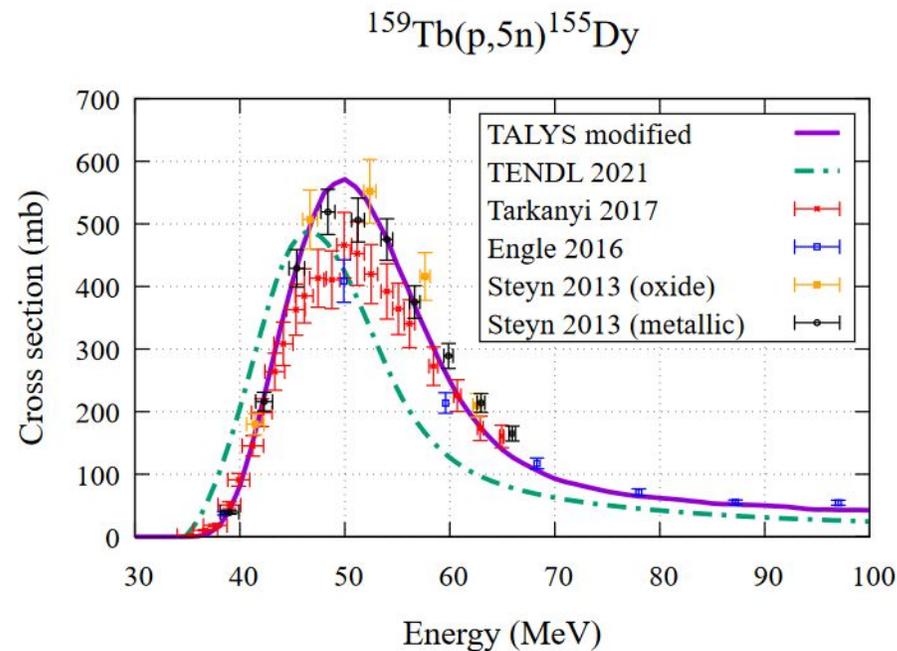
- Which **cyclotron** production route guarantees a sufficient **quantity** and **quality** for clinical applications?

## Obiettivi di Pavia



# Risultati 2022 – milestones (Pavia)

- Milestone: calcoli teorici di XS per  $^{155}\text{Tb}$  e  $^{161}\text{Tb}$
- Planned activities: **1)** calcolo XS su  $^{159}\text{Tb}$  con protoni (generatore Dy-Tb)  
**2)** calcolo XS su  $^{\text{nat}}\text{Gd}$  con p,d e alfa

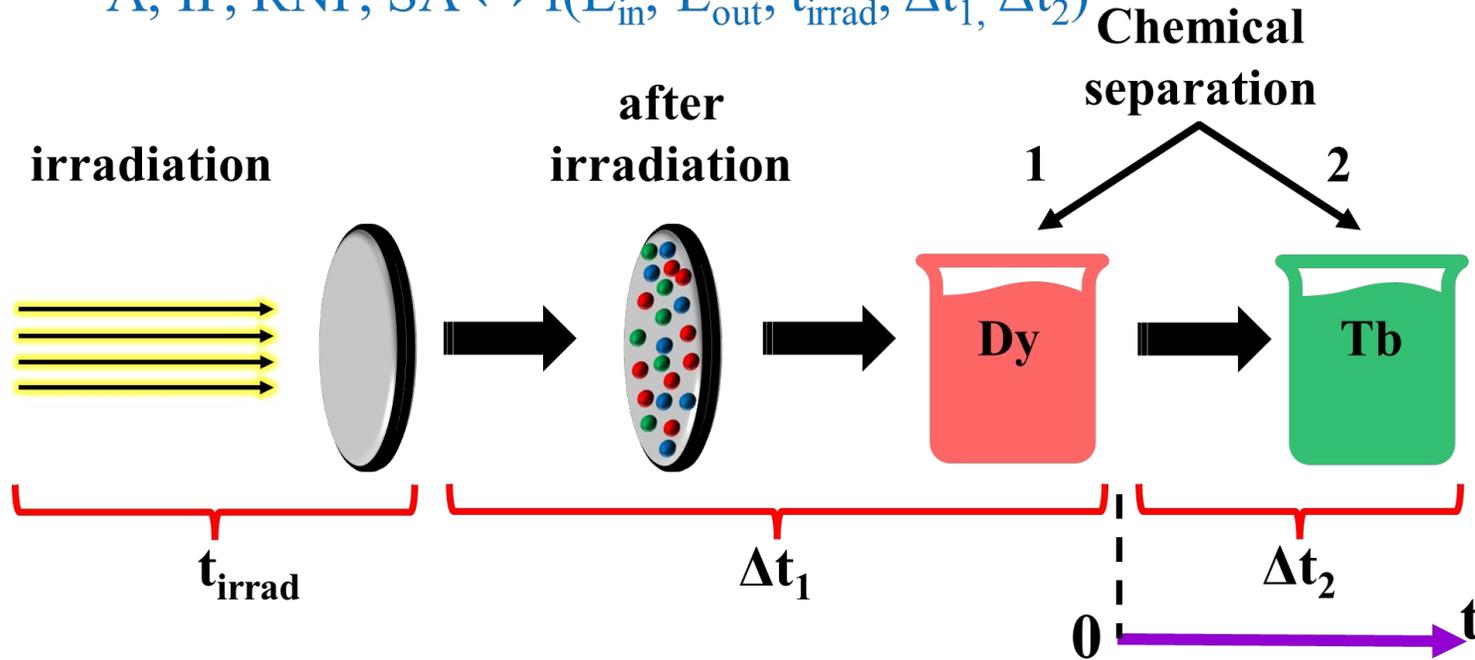


## Talys models optimization

- OMP selection: Koning-Delaroche (p) and Avrigeanu ( $\alpha$ )
- Deformation of the involved nuclei  $\rightarrow$  rotational effects
- Pre-equilibrium: exciton model parameters
- Compound nucleus: microscopic models for level density, minimal variations of parameters (only for  $^{153}\text{Dy}$ )
- Linear energy binning in nuclear de-excitation

# Radiochemical separation model

$$A, IP, RNP, SA \leftrightarrow f(E_{in}, E_{out}, t_{irrad}, \Delta t_1, \Delta t_2)$$



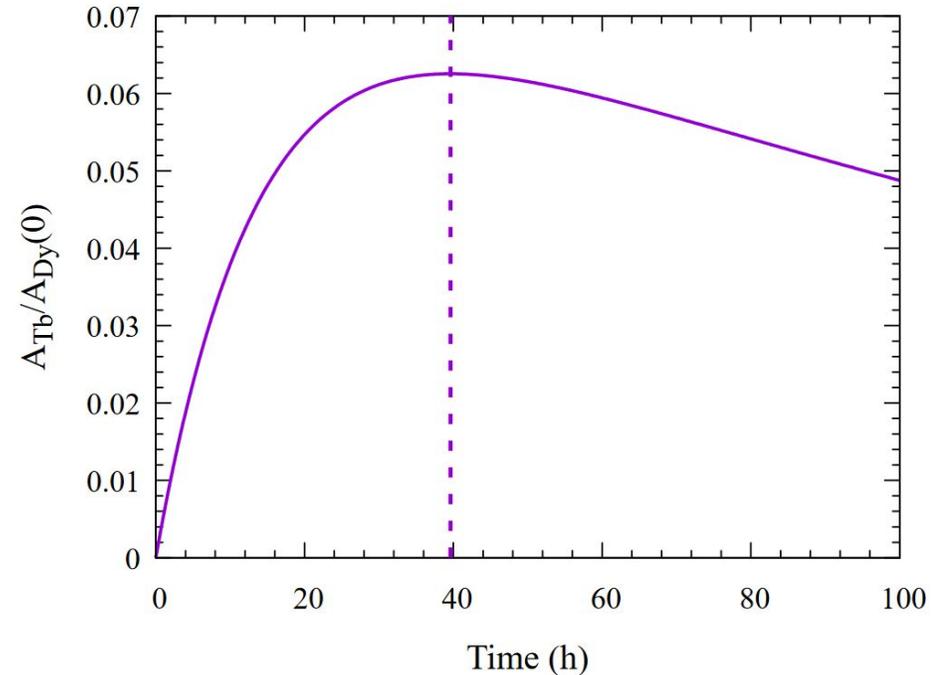
$(E_{in}, E_{out}, t_{irrad}, \Delta t_1) \longrightarrow (A, IP, RNP, SA)$   
 $(I_0 \text{ fixed to } 1 \mu\text{A})$

Goals:

- $RNP \geq 99\%$
- Max A
- Max IP

} Multi-objective optimization

$$\frac{A_{155Tb}(t)}{A_{155Dy}(0)} = f(\lambda_{155Tb}, \lambda_{155Dy}, t)$$



*In agreement with exp. study  
(Steyn, G. F. et al., 2013)*

# Preliminary results

Current: 1  $\mu$ A

Irradiation time: 1 h

$\Delta t_1 = 1.5$  h  
 $\Delta t_2 = 39.6$  h

Standard route,  
production in  
hospitals  
Dellepiane et al., 2022

Target	Ein – Eout (MeV)	A (MBq)	RNP
157Gd	32 – 26	63.6	<0.80
158Gd	42 – 38	40.9	<0.70
<b>159Tb</b>	<b>56 – 47</b>	<b>62.1</b>	<b>&gt;0.99</b>
155Gd*	10.9 – 7.8	~ 3.3	<0.95

The **most promising route** for  $^{155}\text{Tb}$   
production for clinical applications

\* 91.9% enrichment

# Publicazioni, tesi e congressi

## Articoli

- A. Colombi, M. P. Carante, F. Barbaro, L. Canton, and A. Fontana. *Production of High-Purity  $^{52g}\text{Mn}$  from natV Targets with Alpha Beams at Cyclotrons*. Nuclear Technology, 208:4, (2022), pp. 735–752. doi: 10.1080/00295450.2021.1947122
- F. Barbaro, L. Canton, M. P. Carante, A. Colombi, L. De Nardo, A. Fontana, L. Meléndez-Alafort, *The innovative  $^{52g}\text{Mn}$  for positron emission tomography (PET) imaging: Production cross section modeling and dosimetric evaluation*, Medical Physics 2022;1-12. doi: 10.1002/mp.16130

## Proceedings

- A. Colombi, F. Barbaro, L. Canton, M. P. Carante, and A. Fontana. *Advancements in nuclear reaction modeling for innovative medical radioisotope production*. In: Il Nuovo Cimento 45 C (2022) 99. doi: 10.1393/ncc/i2022-22099-2.
- M.P. Carante, F. Barbaro, L. Canton, A. Colombi, A. Fontana, *A new route to produce  $^{52g}\text{Mn}$  with high purity for MultiModal Imaging*, EPJ Web of Conferences 261, 05003 ANPC 2022 (Applied Nuclear Physics Conference), Prague Talk
- A. Colombi, F. Barbaro, L. Canton, M.P. Carante, A. Fontana, *Improvement of nuclear reaction modeling for the production of  $^{47}\text{Sc}$  on natural vanadium targets for medical applications*, EPJ Web of Conferences 261, 05008 ANPC 2022 (Applied Nuclear Physics Conference), Prague Talk
- A. Colombi, F. Barbaro, L. Canton, M. P. Carante, A. Fontana, *Comparison of  $^{nat}\text{Gd}(p,x)$ ,  $^{155}\text{Gd}(p,n)$  and  $^{159}\text{Tb}(p,5n)$  reaction modeling for  $^{155}\text{Tb}$  production*, Congresso Nazionale SIRR 2022, Catania Poster

## Tesi

- Martina Scagni, *Terbio: il “coltellino svizzero” della Medicina Nucleare* (tesi triennale), relatori: Andrea Fontana, Mario Carante, correlatore: Alessandro Colombi, Università degli Studi di Pavia, A.A. 2022/2023.



# 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 2022: 2.1

# 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

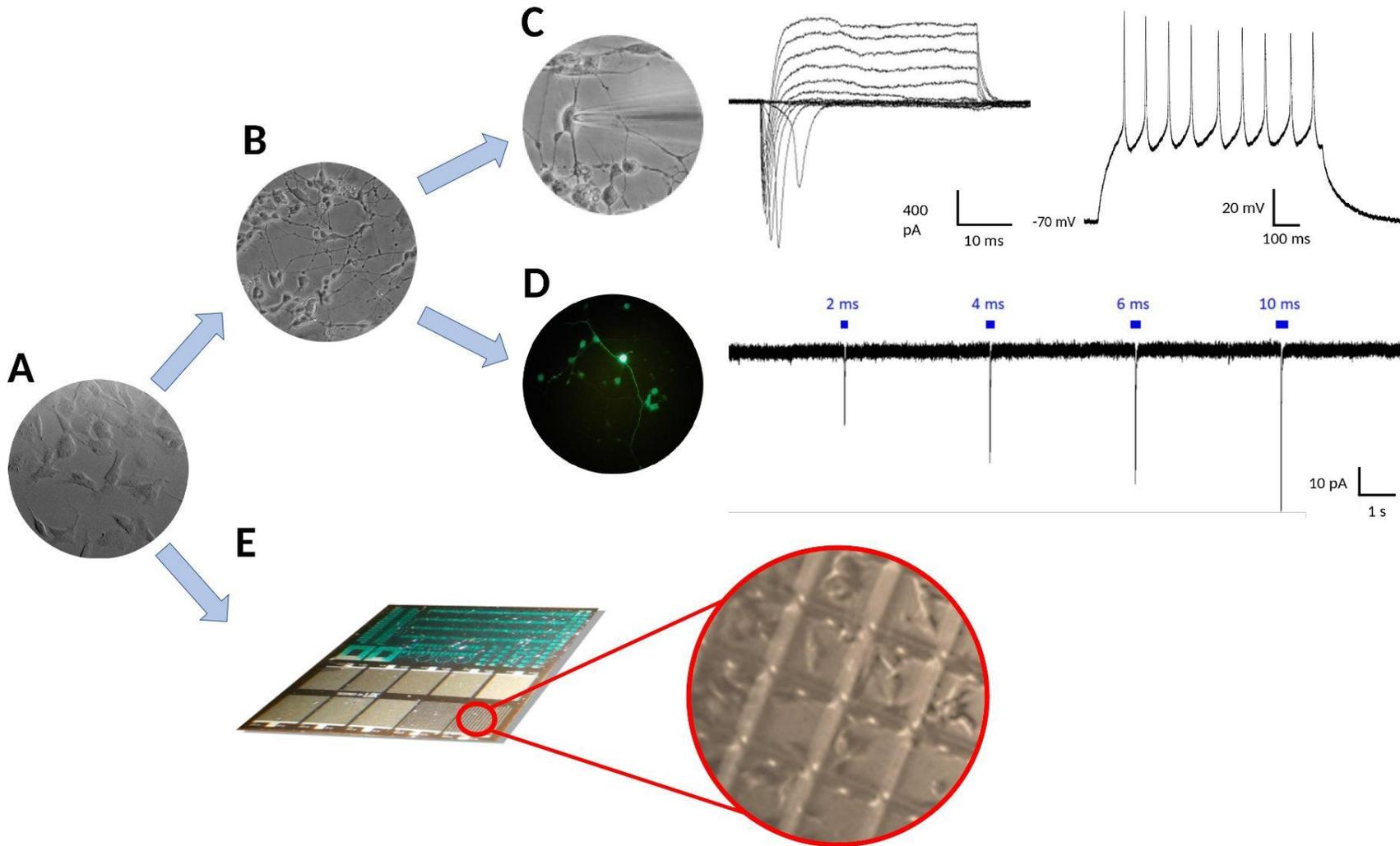
Risposta di retine ai SiPM

# Risultati 2022 – milestones (Pavia)

Progetto completo dell'ASIC e identificazione del run di fonderia	0%
Insieme di stimoli adatti alla produzione di attività nelle cellule gangliari	75%
Integrazione del sistema di stimolazione ottica con quello di misura di attività biologica per misure di campo elettrico e attività cellulari	100%
Progetto del circuito di alimentazione da realizzare con componenti discreti	
Studi estesi del comportamento dei SiPM illuminati su singole celle al variare dell'intensità	

# Risultati 2022 – milestones (Pavia)

Deposizione cellule con successo su SiPM



# Conferenze

## 15th Pisa Meeting on Advanced Detectors

Visual Prosthesis based on Silicon PhotoMultipliers: the SPEye project

G. Biella et al. NIMA, Vol 1048, March 2023 167935



# CHNET\_NICHE

Cultural Heritage Network - Neutron Imaging for Cultural HEritage

RL – Daniele Alloni

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

Pavia  
Firenze  
Torino  
Milano Bicocca  
Bologna

## Anagrafica di Pavia

Daniele Alloni	RL 0.3
Gandini Andrea	0.2
Salvini Andrea	0.4
Zelaschi Fabio	0.3

FTE 2021: 1.2

# 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**

## Obiettivi di Pavia

- **Obiettivo:** sviluppo e ottimizzazione di un sistema per imaging e tomografia con neutroni termici presso 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 2022 – milestones (Pavia)

- Perfezionamento della facility con un sistema di movimentazione manuale su carrelli indipendenti del sistema porta-campione e della camera radiografica. Lo scopo è quello di essere flessibili nella modifica della distanza di lavoro (**M1**)
- Sviluppo di una procedura di caratterizzazione dei fasci di neutroni con misura delle disomogeneità nella divergenza basata su misurazioni fatte a varie distanze dal pin hole e con collimatori di diametro diverso. (**M2**)
- Valutazione preliminare per un possibile futuro spostamento dei componenti di CHNet-NICHE sul canale tangenziale del TRIGA, che potrebbe fornire un flusso di neutroni termici di un fattore 5 superiore rispetto alle attuali condizioni di lavoro. Sono state effettuate simulazioni MCNP del canale B sia vuoto che con il collimatore contenente i filtri a bismuto e zaffiro e del canale C (tangenziale) vuoto. ESi è calcolato un vantaggio a favore del canale C di un fattore 6.4. lo spostamento della postazione CHNet dal canale B al canale C sarebbe quindi auspicabile sia per le attività CHNet-NICHE che per quelle CHNet TANDEM. (**M3**)
- Test delle potenzialità dell'abbinamento del sistema di imaging col collimatore realizzato dall'esperimento ANET tramite misure congiunte. Il test ha avuto esito positivo ma l'accoppiamento non è applicabile nell'attuale configurazione della hutch per mancanza di spazio (**M4**).

Applicazione su casi di studio di interesse nel campo dei BBCC, come previsto nelle milestones 2021. Gli accordi con i musei interessati erano già pronti, ma queste misure sono state ostacolate dalla normativa del decreto del luglio 2020 che considera i reperti archeologici irraggiati come rifiuti radioattivi. Gli accordi presi col Museo Egizio di Torino sono stati rispettati effettuando una campagna di misura al Reattore TU Delft. L'analisi delle misure effettuata sta portando a risultati interessanti e ha confermato le potenzialità delle metodiche adottate e la fattibilità di misure della stessa tipologia presso la facility. **(M5)**

Permangono al momento alcune criticità per poter procedere con un utilizzo sistematico ed estensivo della facility

- Tempo effettivo di misura per tomografie (per una buona qualità di analisi) 12 ore, ma con tempo di operazioni quotidiane del reattore limitato a max 6 ore, allo stato attuale, per carenza di operatori.
- Legge radioprotezione (decreto agosto 2020) che impone grosse limitazioni sul recupero dei campioni dopo che sono stati sottoposti a misura e ostacola le applicazioni su reperti e manufatti di interesse di Beni Culturali.
- Mancanza di personale presso il LENA capace di operare autonomamente con la nuova facility.

Ciononostante il sistema è comunque disponibile per gli utenti della rete CHNet per effettuare misure di imaging neutronico.



# NAMASSTE

**N**ano**M**agnets for quantum **S**ensing and Data **S**torag**E**

**RL – Alessandro Lascialfari**

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

- Pavia
- Bologna
- Firenze
- Milano

## Anagrafica di Pavia (2022):

- RL- Alessandro Lascialfari – PO 0.2
- RN – Manuel Mariani - RU 0.5
- Elio Giroletti – Membro Senior INFN 0.2
- Francesca Brero – Postdoc 0.4
- Marta Filibian – Tecnico D 0.1
- Porru margherita – PhD – 0.2
- Robustelli Test – PhD – 0.2 (2023)

**FTE 2022 - PV: 1.6**

# Goals del progetto

## Obiettivi generali

Studio di nanomagnetismi molecolari (MNM) (magnetismi a singola molecola (SMM) ed a singolo ione (SIM)) per:

- (i) l'uso di SMM come sensori quantistici ad alta sensibilità per la rivelazione di particelle con interazioni caratterizzate da rilascio di bassa energia, fino a  $10^{-3}$  eV;
- (ii) la determinazione, nei SIM, del legame tra proprietà chimico-fisiche e magnetiche, per la sintesi di nuovi SIM ancora più performanti di quelli attualmente esistenti per il loro utilizzo come memorie magnetiche per l'immagazzinamento di dati.

## Finalità più specifiche:

- (i) Sintesi di MNM
- (ii) Caratterizzazione magnetica e della dinamica di spin in MNM con magnetometria SQUID, NMR, EPR,  $\mu^+$ SR
- (iii) Studio, con misure SQUID ed NMR, su per la rivelazione di effetti legati all'irraggiamento con particelle alfa e beta
- (iv) Sviluppo di modelli teorici legati alla dinamica di spin in SIM ed alle interazioni in SMM irraggiati.

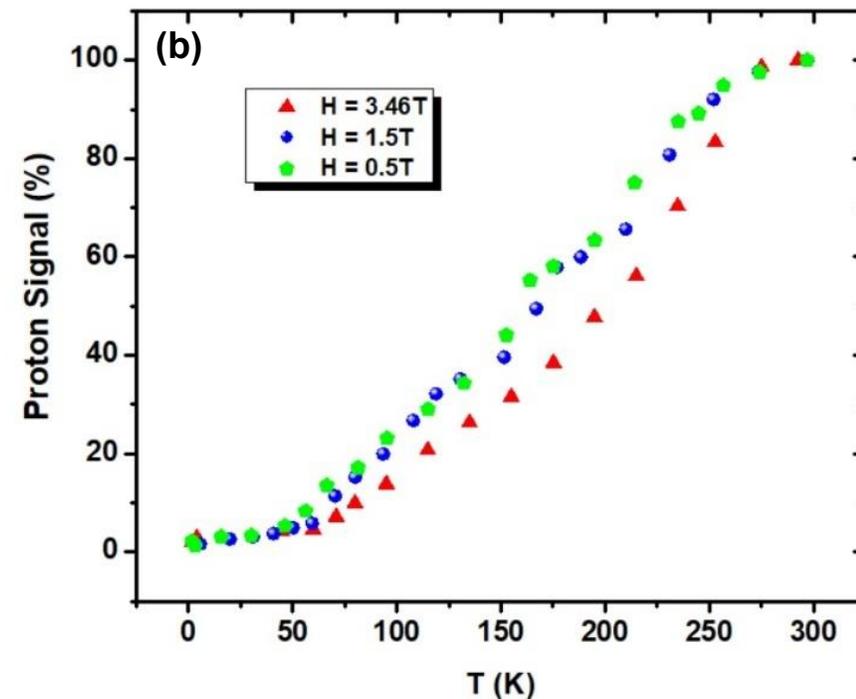
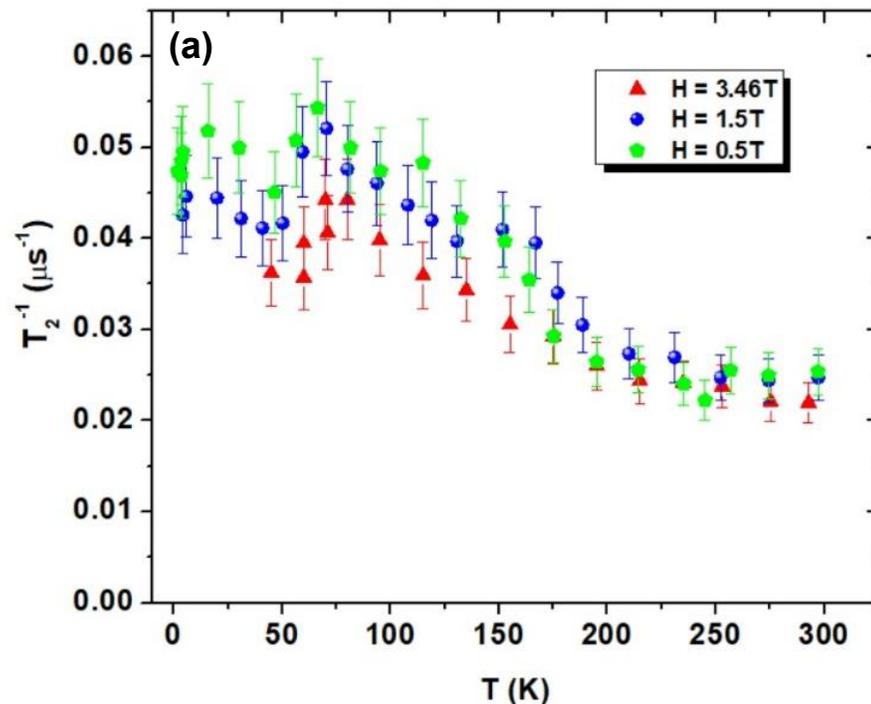
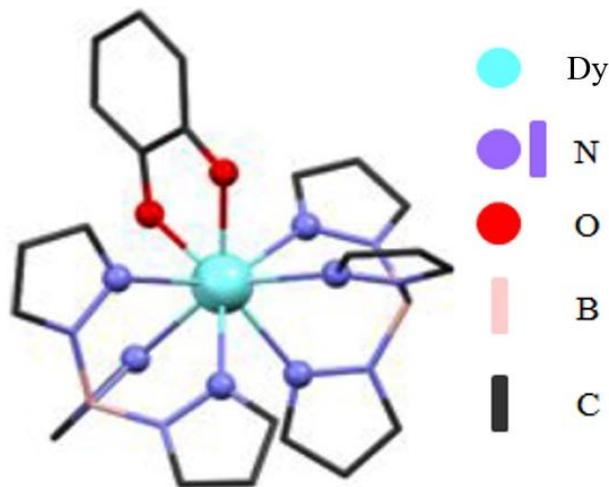
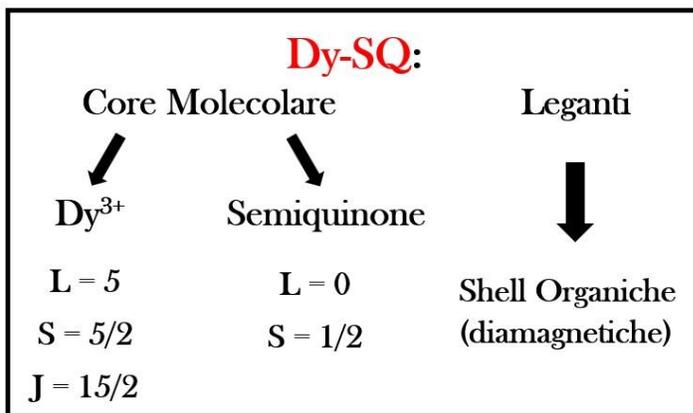
## Obiettivi di Pavia

- (i) Misure NMR e SQUID per la caratterizzazione dei SIM con lo studio delle loro proprietà magnetiche statiche e della dinamica di spin
- (ii) Misure NMR e SQUID sui SMM per la rivelazione di effetti legati all'irraggiamento con particelle alfa e beta su questi sistemi
- (iii) Collaborazione con l'Unità di Milano per le misure  $\mu^+$ SR per la caratterizzazione della dinamica di spin nei SIM
- (iv) Coordinamento delle attività del progetto e collaborazione con le altre unità di Firenze e Milano

# Risultati 2022 (Pavia) – Single Ion Magnets come Memorie Magnetiche

## Complesso Dy-SQ – Misure $^1\text{H}$ NMR

### $T_2$ vs T and wipe-out effect

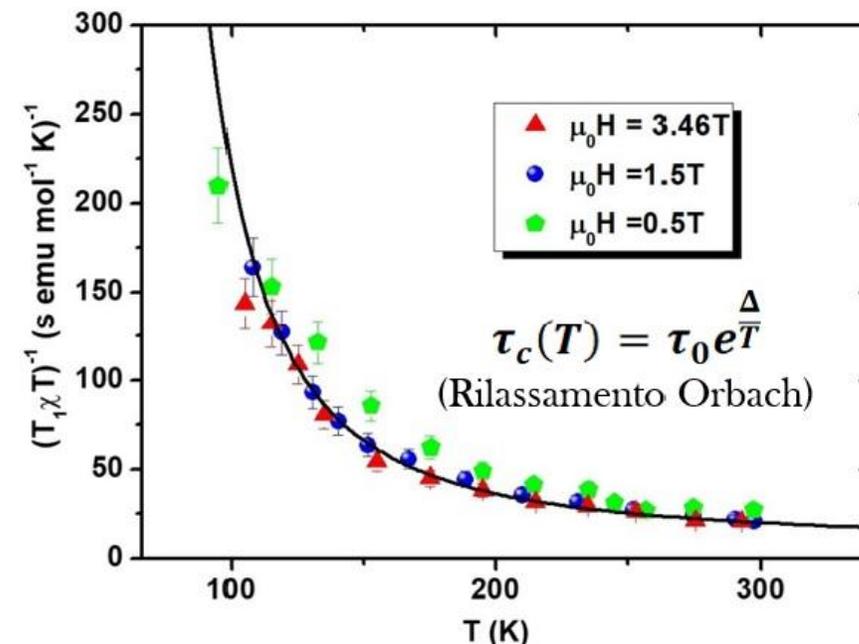
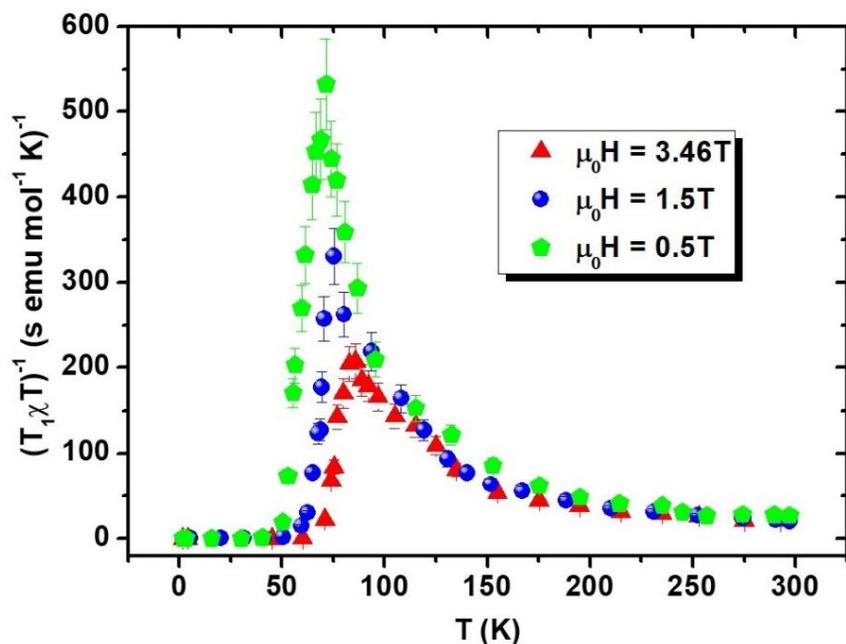


*Dati  $1/T_2$  vs T per tre campi magnetici applicati ( $\mu_0 H = 0.5, 1.5, 3.46\text{T}$ ) nel range  $1.8\text{K} < T < 300\text{K}$  (a) e segnale NMR dei protoni che mostra una perdita di segnale da cui sono affette le misure NMR (wipe-out) (b).*

# Risultati 2022 (Pavia) – Single Ion Magnets come Memorie Magnetiche

## Complesso Dy-SQ – Misure $^1\text{H}$ NMR

$T_1$  vs  $T$



Il Wipe – out influenza  $1/T_1$

↓  
La legge BBP

$$(T_1\chi T)^{-1} = A \frac{2\tau_c(T)}{1 + \tau_c^2(T)\omega_L^2} \text{ FALLISC E!}$$

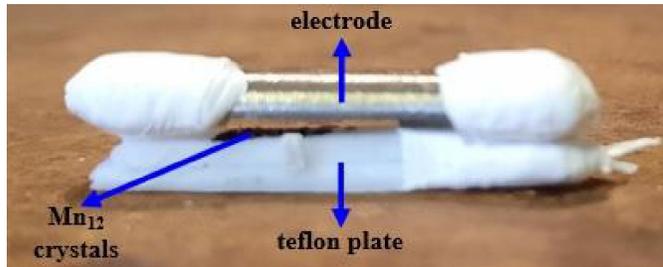
Fit dei dati a destra del picco:

$$\tau_c(T)\omega_L \ll 1 \rightarrow (T_1\chi T)^{-1} = A2\tau_c(T) = A2\tau_0 e^{\frac{\Delta}{T}}$$

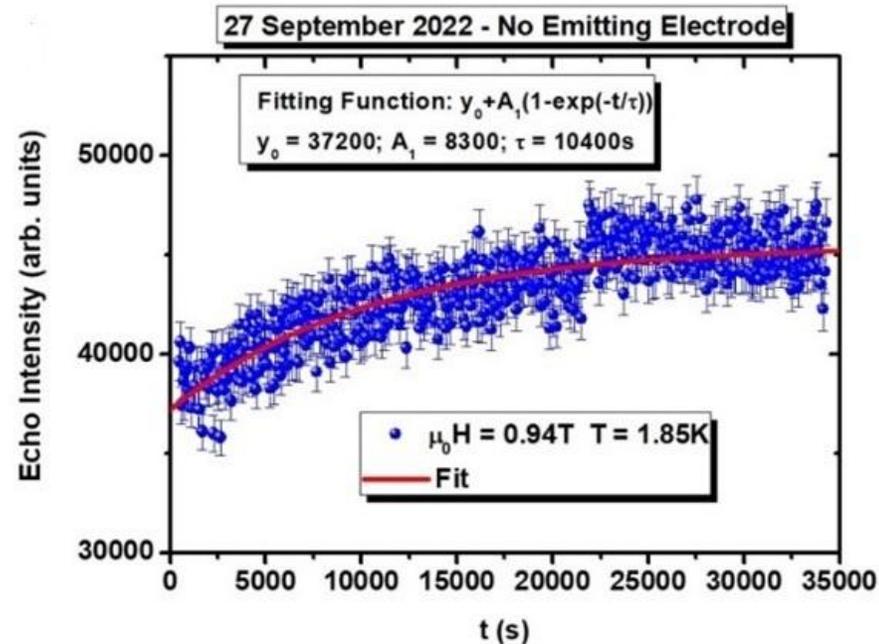
Barriera di energia trovata:  $\Delta = (360 \pm 20)\text{K}$  ( $A\tau_0 \cong 3$ ), comparabile al gap calcolato:

$$E4 - E0 = 380\text{K}$$

# Risultati 2022 (Pavia) – SMMs come Sensori Quantistici di Particelle

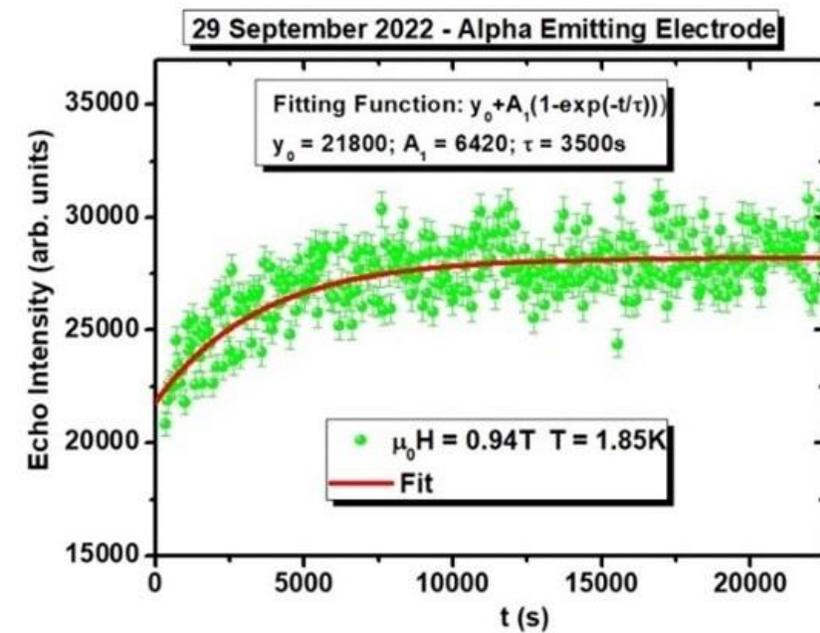


- Misure NMR dell'effetto valanga su cristalli di  $Mn_{12}$ .
- $Mn_{12}$  raffreddato ed esposto ad una sorgente emettente (non emettente) particelle  $\alpha$  in campo nullo fino a  $T = 1.85K$ , quindi campo magnetico acceso a  $0.94T$  e inizio delle misure con acquisizione dell'intensità del segnale di eco in funzione del tempo ripetute per 10 ore con punti sperimentali acquisiti ogni 72 secondi.



$$\tau = 10400s$$

vs



$$\tau = 3500s$$

- Dagli esperimenti sembra che le particelle alfa portino ad un rilassamento più veloce i cristalli di  $Mn_{12}$  con un sensibile aumento del tempo di rilassamento della magnetizzazione  $\tau$  di un fattore 3 circa.

# Tesi e Pubblicazioni

«Magnetic properties and spin dynamics (via  $\mu$ SR ) in  $V_7Zn$  and  $V_7Ni$  molecular rings», F. Aimo Rusnati, M. Mariani, F. Borsa, S. Sanna, F. Adelnia, C. Sangregorio, G. Timco, R. Winpenny, A.Lascialfari, work in preparation



# QUANTEP

Quantum Technology Experimental Platforms

RL – Vittorio Bellani

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

INFN LNL, MI, PG, PI,  
PV, RM2, SA, TO

**FTE 2023- PV: 4.3**

## Anagrafica di Pavia:

- Bellani Vittorio
- Boffelli Massimo
- Cornia Samuele
- Demontis Valeria
- Domenic Prete
- Fontana Andrea
- Giroletti Elio
- Lacava Cosimo
- Rossella Francesco
- Vitali Valerio

# Goals del progetto

## Obiettivi generali:

Development and implementation of a Silicon Photonics Integrated Circuit for Quantum Computation with linear quantum optics circuits and single photons.

## Obiettivi di Pavia

Realization of heterostructured semiconductor nanowires, graphene and other 2D materials devices for the control of the light-matter interaction mechanisms, in particular polarization modulation.

# Risultati 2022 – Milestones (Pavia)

## Milestones 2022:

- Fabrication and simulation of silicon-graphene and silicon-nanowires structures for polarization control.
- Experimental study of graphene and semiconductor nanowires structures and devices by means of optical spectroscopy and electrical transport

## Sintesi risultati 2022:

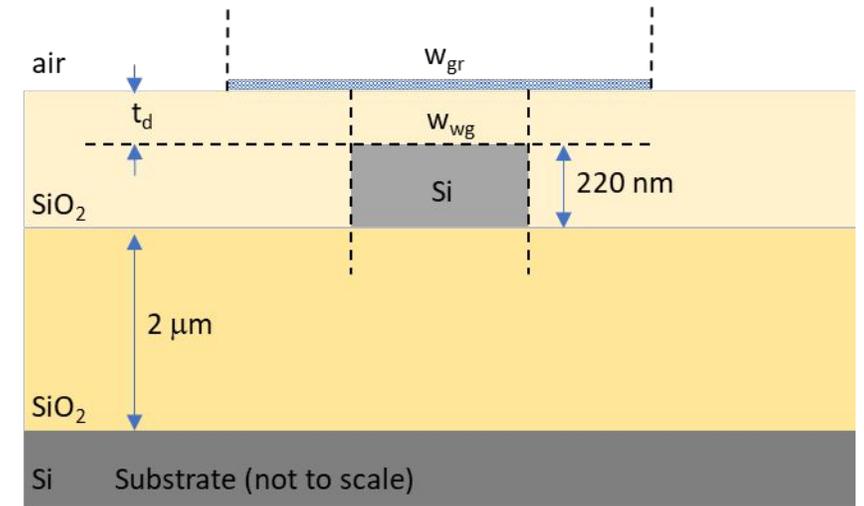
- Fabrication of graphene and nanowires by means of exfoliation and epitaxy.
- Study of the Raman response and electrical transport properties of graphene and semiconductor nanowires; determination of their optical and electrical response and comparison with numerical simulation.
- [Q@TN call for access to CINECA Quantum Computing resources: \*Modelling many-electron states in 2D materials using the D-wave quantum annealer\*](#)

# Polarization control with graphene-on-silicon waveguide

**Computational study** with Lumerical simulations

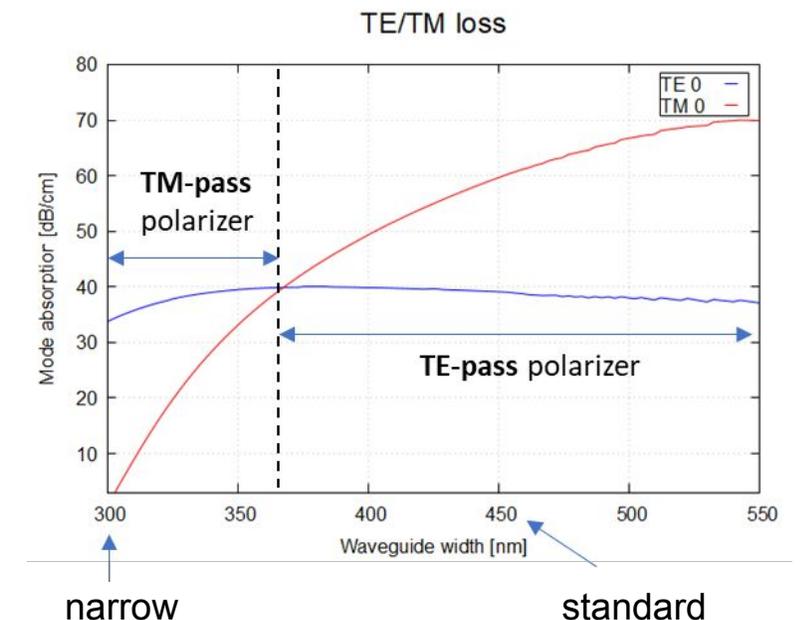
Main waveguide **design parameters**:

- $W_{wg}$  silicon **waveguide width** (standard 450 nm, narrow 300 nm)
- $W_{gr}$  **graphene width**  $W_{gr} = W_{wg}$ , swept from 5 nm up to 3  $\mu\text{m}$  (“infinite”)
- $t_d$  top oxide **thickness** (swept from 10 nm up to 700 nm)



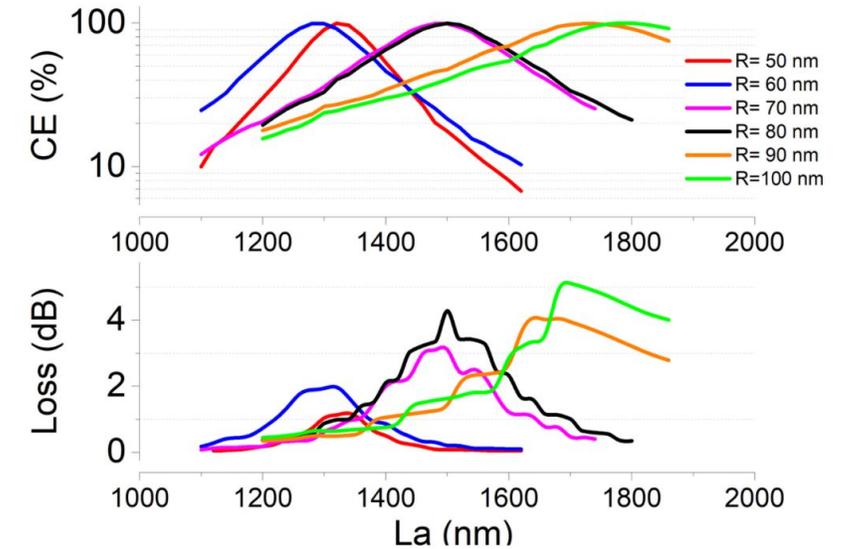
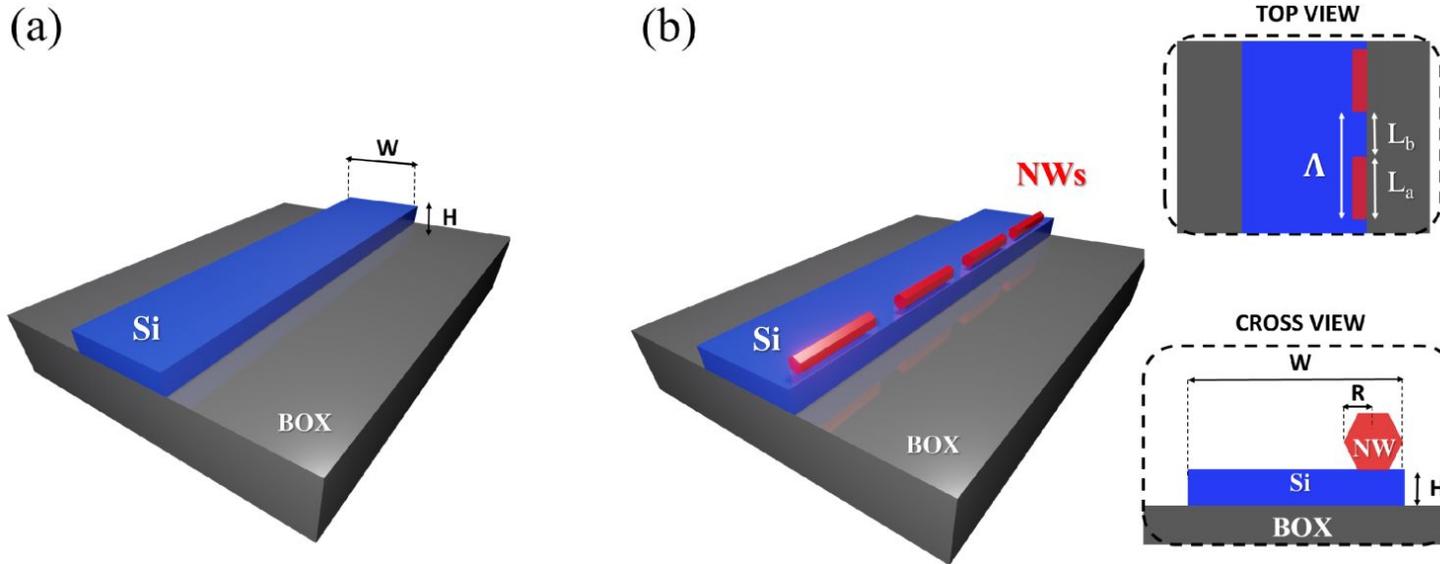
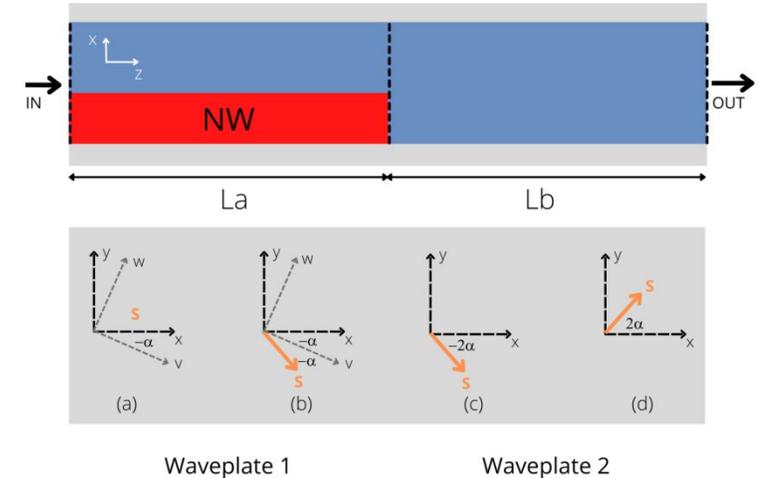
## Results

- Graphene nanoribbon placed on top of a Si waveguide absorbs TE and TM modes differently
- The device switches behaviour between **TE-pass** or **TM-pass** polarizer depending on waveguide width
- The polarizer operation is thus **robust** against graphene fabrication widths



# Polarization control with nanowire-on-silicon waveguide

- The introduction of an array of nanowires creates a series of waveplates
- A 100 % conversion efficiency can be obtained with several NW configurations
- Loss was optimized by changing the NW radius
- The device might be reconfigured after fabrication by nanopositioning the NWs



# Publicazioni



Open Access Article

## Polarization Control in Integrated Silicon Waveguides Using Semiconductor Nanowires

by Ali Emre Kaplan <sup>1,2,\*</sup> Valerio Vitali <sup>3</sup> Valeria Demontis <sup>4</sup> Francesco Rossella <sup>5</sup> Andrea Fontana <sup>2</sup> Samuele Cornia <sup>2,5,6</sup> Periklis Petropoulos <sup>3</sup> Vittorio Bellani <sup>2,6</sup> Cosimo Lacava <sup>1,2,3,\*</sup> and Ilaria Cristiani <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Photonics Research Group, Department of Electrical, Computer and Biomedical Engineering, University of Pavia, 27100 Pavia, Italy

<sup>2</sup> Istituto Nazionale Fisica Nucleare (INFN)-Pavia Section, 27100 Pavia, Italy

<sup>3</sup> Optoelectronics Research Centre, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK

<sup>4</sup> NEST, Scuola Normale Superiore, Istituto Nanoscienze-CNR, 56127 Pisa, Italy

<sup>5</sup> Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche, Università di Modena e Reggio Emilia, 41125 Modena, Italy

<sup>6</sup> Department of Physics, University of Pavia, 27100 Pavia, Italy

\* Authors to whom correspondence should be addressed.

*Nanomaterials* **2022**, *12*(14), 2438; <https://doi.org/10.3390/nano12142438>

## Tesi

Marin Cosmin, *Complex Systems and Computational Paradigms: Classical and Quantum Approaches*,

Tesi di Laurea Magistrale Università' di Roma Tor Vergata 2023

Relatori: A. Salamon, G. Salina e A. Fontana

Open Access Article

## Polarization Control in Integrated Graphene-Silicon Quantum Photonics Waveguides

by Simone Cammarata <sup>1,2</sup> Andrea Fontana <sup>3</sup> Ali Emre Kaplan <sup>3,4</sup> Samuele Cornia <sup>3,5</sup> Thu Ha Dao <sup>6,7</sup>, Cosimo Lacava <sup>3,4</sup> Valeria Demontis <sup>3,8</sup> Simone Iadanza <sup>9</sup> Valerio Vitali <sup>3,10</sup> Fabio De Matteis <sup>6,7</sup> Elena Pedreschi <sup>1</sup>, Guido Magazzù <sup>1</sup> Alessandra Toncelli <sup>1,11</sup> Franco Spinella <sup>1</sup> Sergio Saponara <sup>2</sup> Roberto Gunnella <sup>12,13</sup> Francesco Rossella <sup>3,5</sup>, Andrea Salamon <sup>6</sup> and Vittorio Bellani <sup>3,14,\*</sup>

<sup>1</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) Sezione di Pisa, 56127 Pisa, Italy

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Pisa, 56122 Pisa, Italy

<sup>3</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) Sezione di Pavia, 27100 Pavia, Italy

<sup>4</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, Università di Pavia, 27100 Pavia, Italy

<sup>5</sup> Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche, Università di Modena e Reggio Emilia, 41125 Modena, Italy

<sup>6</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) Sezione di Roma Tor Vergata, 00133 Roma, Italy

<sup>7</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Roma Tor Vergata, 00133 Roma, Italy

<sup>8</sup> NEST, Scuola Normale Superiore, Istituto Nanoscienze-CNR, 56127 Pisa, Italy

<sup>9</sup> Centre for Advanced Photonics and Process Analysis, Munster Technological University, Tyndall National Institute, T12 P928 Cork, Ireland

<sup>10</sup> Optoelectronics Research Center (ORC), University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK

+ Show full affiliation list

\* Author to whom correspondence should be addressed.

*Materials* **2022**, *15*(24), 8739; <https://doi.org/10.3390/ma15248739>

## Conferenze

- V. Demontis, *Hetero-structured silicon, 2D materials and nanowire-based devices for quantum Photonics*, Talk SIF 2022
- C. Marin et al., QT4HEP conference @ CERN, poster
- A. Fontana et al., Q@TN General Assembly, Trento, Talk
- A. Fontana et al., Workshop Quantum Computing @ INFN, Bologna, Talk



# INFN\_E

ARCO\_FAST

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

RL – Andrea Salvini

# Informazioni generali

## Sezioni Coinvolte:

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

## Anagrafica di Pavia

- Andrea Salvini
- Daniele Dondi
- Nicoletta Protti
- Giancarlo D'Agostino
  
- Marco di Luzio

# 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 Mark II del LENA opportunamente attrezzati e strumentati per ottenere uno spettro di neutroni di alta energia

Attività principalmente modellistica e di simulazione numerica.

Sono stati affrontati i seguenti punti d'interesse:

- Utilizzo delle tecniche Large Eddy Simulation (LES) per meglio definire il comportamento del refrigerante in regime dinamico dentro e fuori dal nocciolo (piscina compresa);
- Utilizzo di tecniche di “Data Assimilation” e “Machine learning” per una integrazione dei dati sperimentali nelle tecniche di simulazione adottate;
- Implementazione di tecniche di Dynamic mode decomposition per la riduzione d'ordine del modello termoidraulico del reattore Triga.

# Risultati 2022 – milestones (Pavia)

Attività di supporto alla verifica e validazione dei modelli sviluppati in collaborazione con Polimi.

Nello specifico: Il progetto di ricerca ha analizzato il reattore TRIGA per studi specifici sulle caratteristiche neutroniche, termoidrauliche e sul burn up, che possa essere ricondotto alle condizioni operative previste nei nuovi reattori nucleari di quarta generazione (GEN IV nuclear reactors).