Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Convegno INFN - ENEA

Presentazione delle collaborazioni in atto nell'ambito della Convenzione Quadro ENEA-INFN

Sessione "Tecniche sperimentali innovative"

01/07/2021 in remoto

P. De Felice[1], P. Valente [2]

1) **ENEA - Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti**
2) **INFN Roma - Università degli Studi di Roma Tor Vergata**

TSI - Tematica N. 1

Utilizzo di fasci e campi neutronici veloci (fusione) e termalizzati (pile termiche e reattori)

- INFN Roma1

  R. Faccini, riccardo.faccini@roma1.infn.it
- ENEA-INMRI, ENEA Frascati

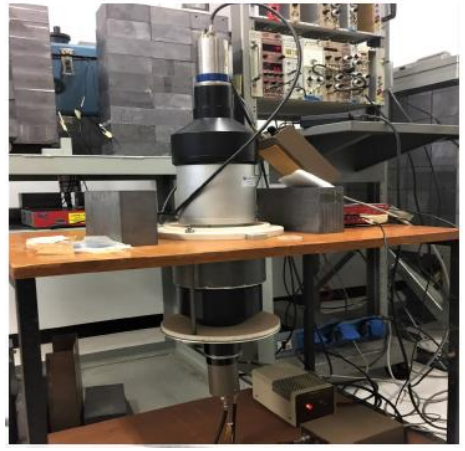
  M. Capogni, marco.capogni@enea.it

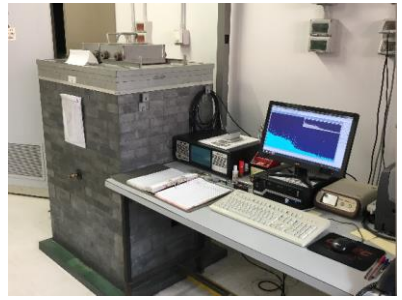
  A. Pietropaolo, antonino.pietropaolo@enea.it

1. **Sviluppo di rivelatori di neutroni termici (stato solido e gas) per applicazioni anche alle Large Scale Facilities internazionali (ENEA Frascati, INFN-LNF).**
2. **Sviluppo di rivelatori a superconduttore a effetto bolometrico in sistemi BCS (ENEA Frascati, INFN Lecce).**
3. **Sviluppo di spettrometri ad ampio spettro per la caratterizzazioni di campi neutronici (ENEA Frascati, INFN-LNF).**
4. **Sviluppo di dispositivi per moderazione di campi neutronici monocromatici a 2.5 e 14 MeV per applicazioni di imaging e scattering di neutroni termalizzati (ENEA Frascati, INFN-LNF).**
5. **Sviluppo di sistemi di collimazione di fasci di neutroni termici e da fusione per radiografia neutronica standard e ad alta energia (ENEA Frascati, INFN-LNF).**
6. **Sviluppo di tecniche di produzione di radioisotopi diagnostici con fasci di elettroni di alta energia e teranostici per la medicina nucleare (ENEA Frascati, ENEA-INMRI, INFN Roma 1).**
7. **Progettazione e realizzazione di dispositivi per generazione di campi neutronici termici ed epitermici ad alta omogeneità spaziale, mediante termalizzazione di campi neutronici da sorgenti sigillate tipo Am-Be e/o Am-B (ENEA Frascati, ENEA-INMRI, INFN-LNF).**

Studio di attivazione di radionuclidi a breve emivita (quali ad es. Mo-99, Cu-64, Lu-177, …) mediante fascio di neutroni veloci (10^{10} n/s) prodotti da reazione di fusione D-T presso l'impianto Frascati Neutron Generator (FNG) dell'ENEA Frascati e misure di attività in condizioni di elevato livello metrologico presso i Laboratori di Radioattività dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI-ENEA).

Generatore di **N**eutroni a ENEA C.R. **F**rascati (FNG)
(Riferimento: Mario Pillon)





Sistemi di **M**isura di **A**ttività di ENEA-INMRI

Canali di reazione indagati:

- Mo-100(n,2n)Mo-99 per produzione di Tc-99m
- Zn-64(n,p)Cu-64
- Cu-65(n,2n)Cu-64
- studio di produzione di Lu-177 in corso

Tre tesi di laurea assegnate e concluse su produzione di Mo-99 e Cu-64 da neutroni veloci con Università di Roma "La Sapienza"

Effettuate prove preliminari di separazione radiochimica dei campioni attivati di Molibdeno e Zinco naturale con il supporto del Laboratorio Caratterizzazione Materiali e Gestione di rifiuti radioattivi dell'ENEA - C.R. Casaccia
(Riferimenti: Alessandro Dodaro, Nadia Cherubini Contatto: Mauro Capone)

TSI - Tematica N. 2

Partecipazione dell'INFN a confronti nazionali organizzati dall'INMRI-ENEA per i laboratori delle reti di sorveglianza della radioattività

- INFN LNGS

  M. Laubenstein, matthias.laubenstein@lngs.infn.it
- ENEA-INMRI

  P. De Felice, pierino.defelice@enea.it

- **Legge 273/91: ENEA-INMRI, Istituto Metrologico Primario nel settore delle Radiazioni Ionizzanti (RI), INMRI-ENEA provvede alla realizzazione pratica Unità di Misura per le grandezze relative alle RI.**
- **INMRI organizzatore di Confronti InterLaboratorio (ILC), riconosciuti da ACCREDIA.**
- **Sin dagli anni 80, INFN ha partecipato attivamente a tali ILC.**
- **Nel settore delle misure di radioattività ambientale: contributo INFN alla definizione delle condizioni operative degli ILC, effettuando le misurazioni sui campioni ricevuti e riportando i risultati all'INMRI-ENEA.**
- **Entrambi gli Istituti hanno partecipato (seppur con ruoli diversi) alla definizione del quadro nazionale della qualità delle misure nel settore specifico.**
- **La collaborazione proposta vuole potenziare tale attività, sia aumentando la frequenza degli ILC, che estendendone il campo di applicazione. A tal fine attrezzature e personale ENEA ed INFN potranno essere coinvolti in attive collaborazioni.**
- **Programma MiSE-ILC**

Programma MiSE-ILC
Tematiche generali degli ILC proposti.

- ILC orientati ad aspetti metrologici di base, con elevata ricaduta sul cittadino/consumatore.
- Ciascun ILC verte su una diversa tipologia di misura.
- Aspetti specifici di ciascun ILC disponibili sul sito del Programma.
- Autorevoli Enti ed Associazioni Nazionali hanno concesso il Patrocinio al Programma, tra cui INFN
- Pagina web dedicata al programma: https://www.inmri.enea.it/attivita-di-ricerca/confronti-interlaboratorio

ILC N.	Tematica generale
1	Attività di radionuclidi (gamma-emettitori + Sr-90) in una soluzione liquida acquosa
2	Attività di radiofarmaci (Tc-99m, F-18, Lu-177)
3	Concentrazione di attività del Rn-222 in aria
4	Dose assorbita in acqua in fasci di fotoni per radioterapia con campi piccoli
5	Equivalente di dose personale, $H_p(10)$, con dosimetri di tipo passivo (Cs-137, raggi x di medie energie)
6	Contaminazione superficiale (Am-241, Sr-90) con sorgenti piane ed estese (SPE)

TSI - Tematica N. 3

Esperimento SiCILIA (attività di R&D neutron detectors in SiC)

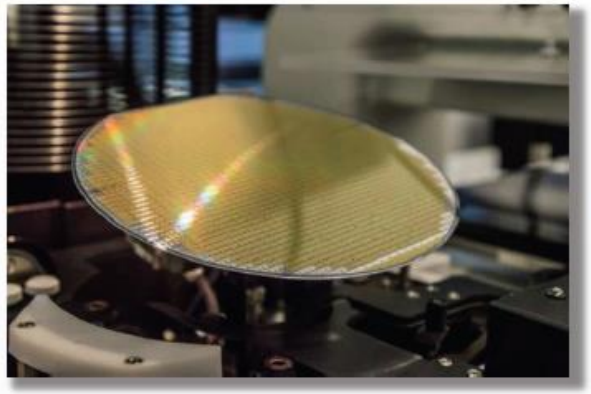
- LNS, Catania, Firenze, Milano, Milano Bicocca, Pisa, TIFPA
  S. Tudisco, tudisco@lns.infn.it
- ENEA Frascati
  M. Pillon, mario.pillon@enea.it

- **SiCILIA: collaborazione nata da un progetto dalla Commissione Scientifica Nazionale 5 dell'INFN, con obiettivo lo sviluppo di tecnologie per fabbricazione di rivelatori in Carburo di silicio (SiC).**
- **Stretta sinergia tra INFN e IMM - Istituto di Microelettronica e Microsistemi del CNR (know-how su processi di fabbricazione e caratterizzazione del materiale SiC).**
- **Diverse tipologie di rivelatori, principalmente per le attività di NUMEN (esperimento di GRIII).**
- **Diverse tecniche di fabbricazione (giunzione p-n, Schottky, etc) e produzione di prototipi di dispositivi anche di grandi dimensioni (ordine dei cm^2 di area attiva), capaci di lavorare in trasparenza (senza substrati) con spessori da 100-500 μm.**
- **Attività di caratterizzazione e studio dei dispositivi al variare della tipologia di radiazione, dalle condizioni di flusso e dell'ambiente d'utilizzo.**
- **Collaborazione con ENEA: volta a studio di performance di dispositivi nell'ambito della rivelazione di neutroni.**
  - **Diverse campagne di misura alla facility FNG-ENEA di Frascati per la rivelazione dei neutroni veloci, finalizzate allo studio del danno da radiazione sui dispositivi.**
  - **In particolare, l'attività riguarda lo sviluppo e la caratterizzazione di rivelatori di neutroni realizzati in SiC.**
  - **Punti deboli e di questo materiale (es. difficoltà ad usare il SiC per spettrometria neutronica),**
  - **Punti di forza (es. buone caratteristiche di resistenza alle radiazioni e possibilità di operare ad altre temperature, anche meglio del diamante).**

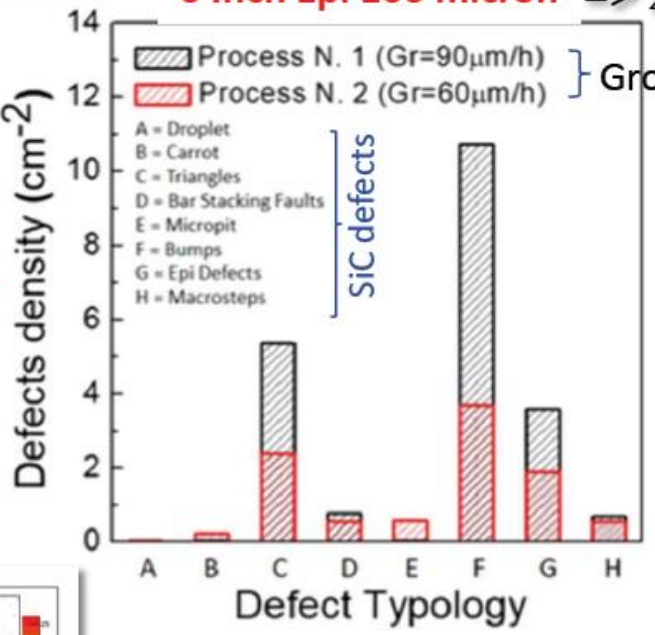
Silicon Carbide Detectors

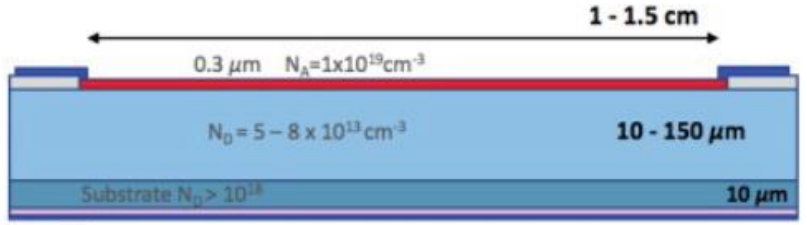
for Intense Luminosity Investigations and Applications

SiCILIA INFN

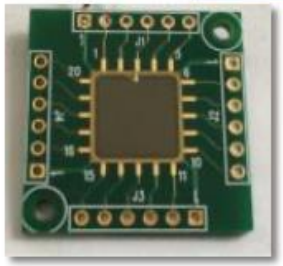


6 Inch Epi 100 micron => 250 μm is possible!





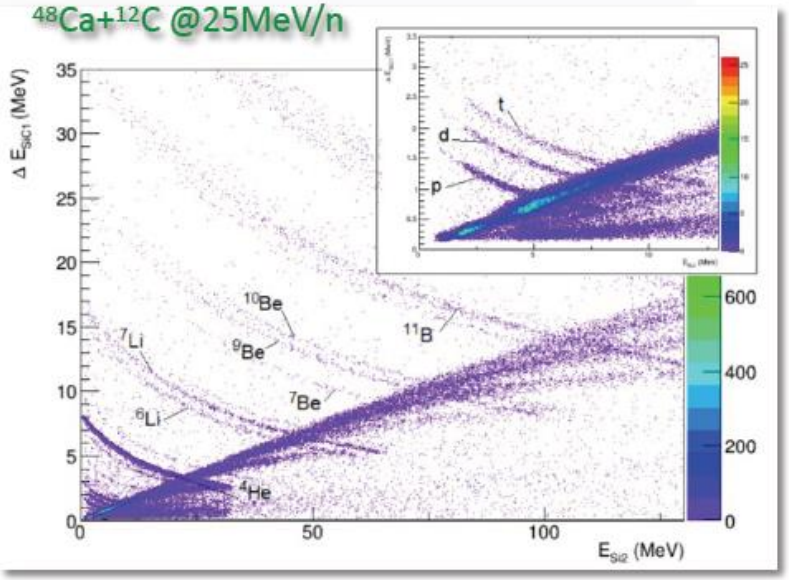
SiC *ΔE detectors*



Large area devices => **1.5 cm**

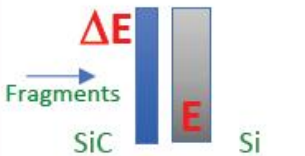
S. Tudisco et al. SENSORS Vol. 18 (2018) 2289

$^{48}Ca+^{12}C$ @25MeV/n



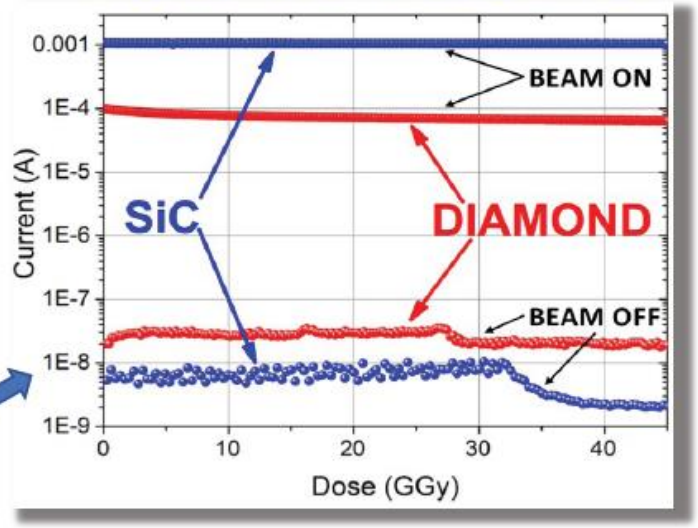
C. Ciampi et al. NIMA 925 (2019) 60-69

SiC-Si Telescope



Synchrotrons radiation

X-ray beam, $5 \cdot 10^{10}$ ph/sec@12.4 keV

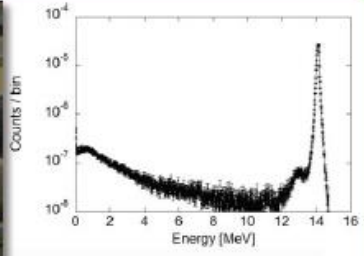


S. Nida et al. Jour. of Sync. Rad. 26 (2019) 28-35

Silicon Carbide Detectors

for Intense Luminosity Investigations and Applications

Neutrons detections



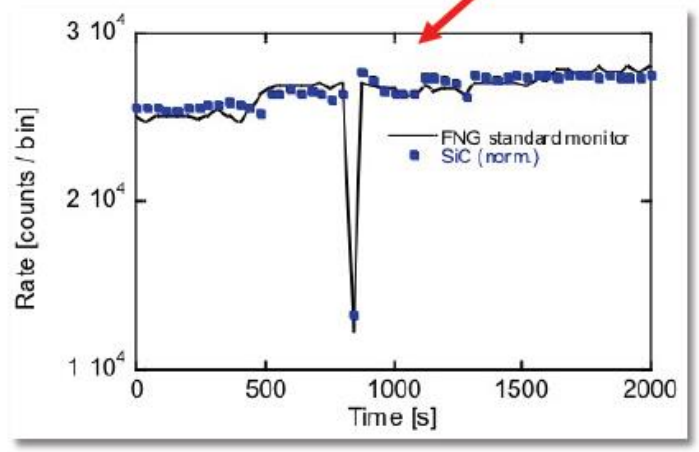
FNG ENEA - Frascati

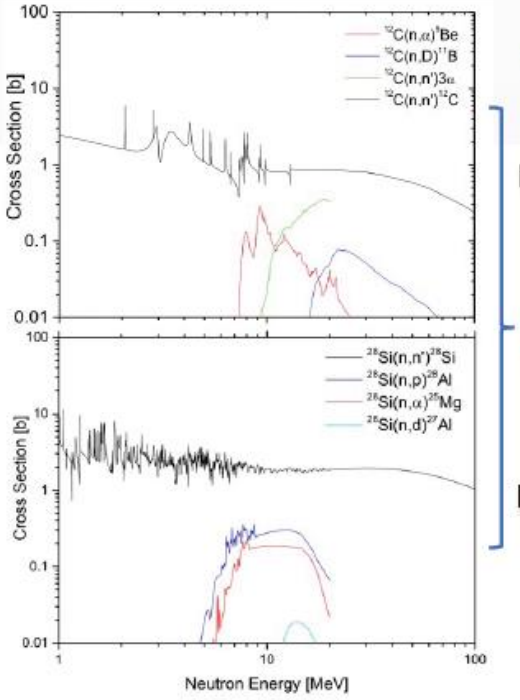
Efficiency

Detector	Atomic/molecular density [cm^{-3}]	Efficiency measured for E_d> 1.2 MeV [and normalized per atom]	Efficiency measured in the $^{12}C(n, \alpha)^9Be$ peak
SCD 150 μm	$1.76*10^{23}$	$(1.59 \pm 0.25)*10^{-3}$ $[2.97*10^{-24}]$	$(0.91 \pm 0.15)* 10^{-4}$
SiC 100 μm	$4.8*10^{22}$	$(5.69 \pm 0.78)*10^{-4}$ $[4.74*10^{-24}]$	$(2.02 \pm 0.30)*10^{-5}$

Absence of instabilities for 14 MeV neutron up to $5*10^{11}$ n/cm^2

SiC n-Beam Monitor

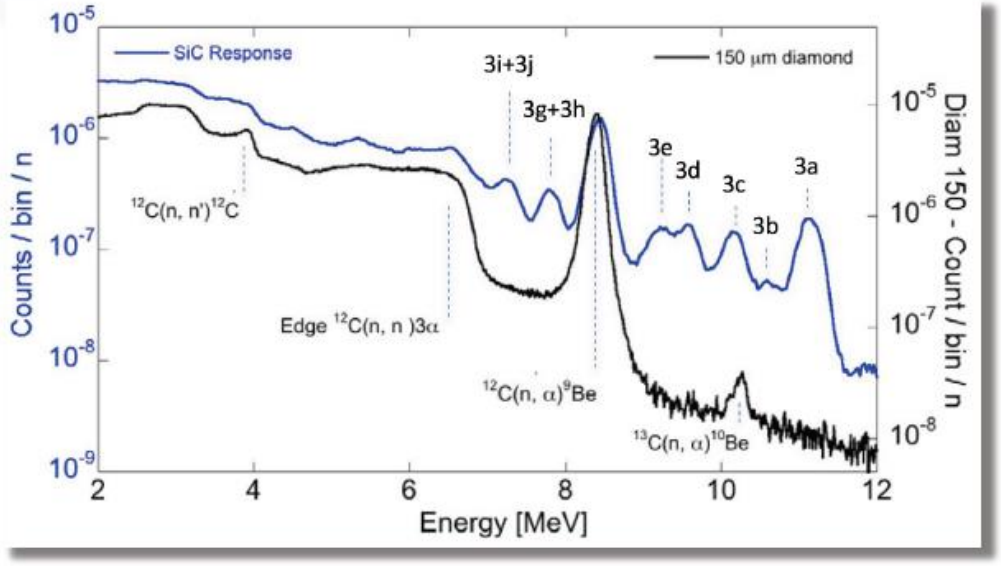




Energy deposition

n + ^{12}C

n + ^{28}Si



M. Rebai et al. NIMA Vol. 946 (2019)

TSI - Tematica N. 4

Progetto AIDAinnova

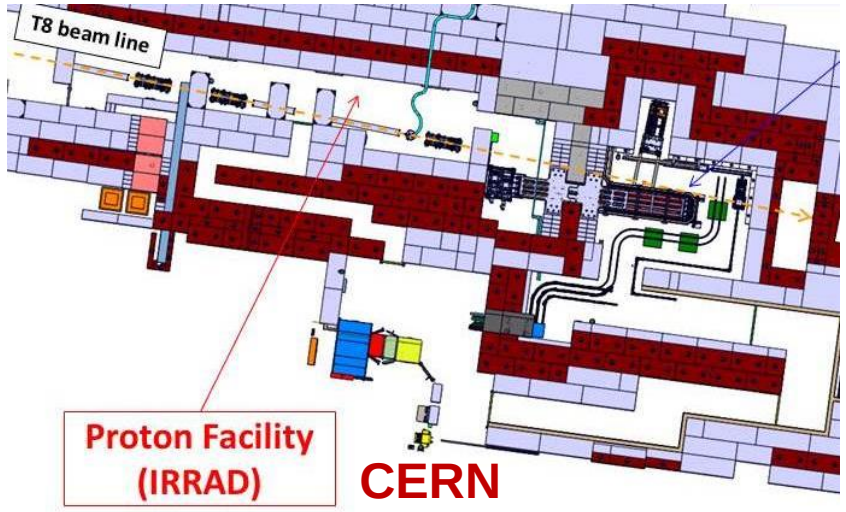
- INFN Torino
  N. Pastrone, nadia.pastrone@cern.ch
- ENEA Frascati
  S. Fiore, salvatore.fiore@enea.it

- **Partecipazione di 38 istituti e laboratori di ricerca in tutta Europa (ambito di Horizon Europe).**
- **Sviluppo infrastrutture di ricerca per test di rivelatori, per future generazioni di esperimenti di fisica fondamentale.**
- **CERN, INFN, ENEA con coinvolgimento di partner industriali (CAEN).**
- **Sistema integrato di misura dell'attivazione residua e di tracciamento di prototipi testatimediante tag RFID:**
  - **Campioni e prototipi realizzati da INFN per i test di radiation hardness;**
  - **Hardware (tag RFID) sviluppato da CAEN;**
  - **Gestione campioni sviluppato da CERN (facility IRRAD);**
  - **Test sul campo presso FNG dell'ENEA di Frascati e IRRAD.**

AIDAinnova H2020 project

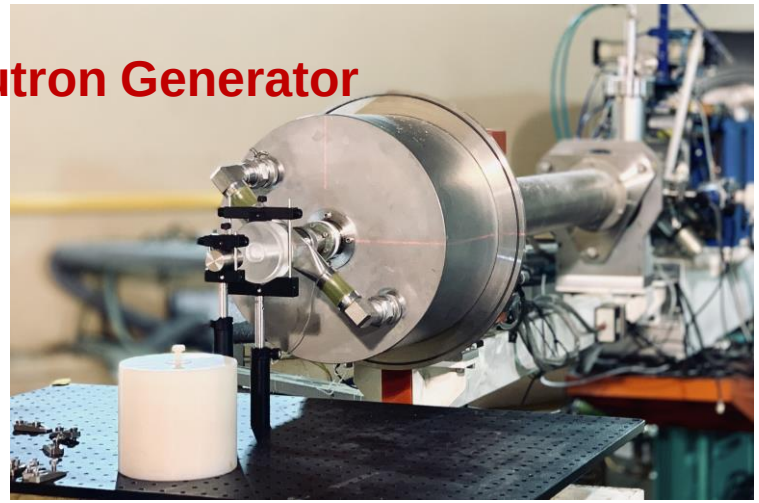
- AIDAinnova will provide state-of-the-art upgrades to research infrastructures, such as test beams, in order to unfold the scientific potential of detector technologies.
- The H2020 project will run from April 2021 to March 2025
- WP4: ***Upgrade of Irradiation and Characterization Facilities***

➢ Devoted to the **integration of software, hardware and quality control systems** for the **management of data** obtained at different **European irradiation facilities**



CERN

Frascati Neutron Generator
FNG - ENEA



Task 4.3: Tools for Irradiation Facilities (I)

Task 4.3 - Common Tools for Irradiation Facilities Quality Control: Data Management, Traceability, Dosimetry and Activation Measurements

- Design and develop the **prototype of an integrated system** to manage induced activation (**gamma spectrometry**) and **traceability data for irradiated objects.**
- Improve **detector performances, MC for absolute activation** measurement calibration.
- **RFID wireless id tags radiation hardness** studies.

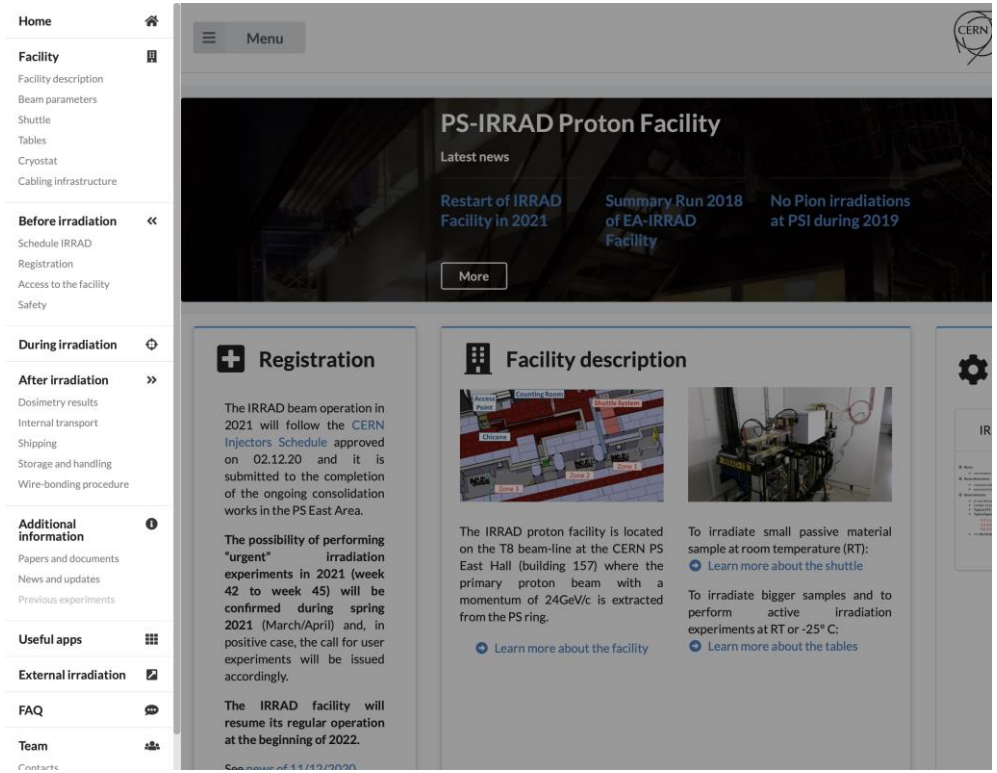
Partners: INFN, ENEA, CERN

Industrial partner: CAEN

Task 4.3: Tools for Irradiation Facilities (II)

- Generalize the IRRAD Data Manager (IDM) system to new facilities and improve the sharing of the irradiation experiment results, control system and operational data
- develop a HW-SW integrated system to manage activated prototypes at beam test and reactor facilities

Partners: INFN, ENEA, CERN



TSI - Tematica N. 5

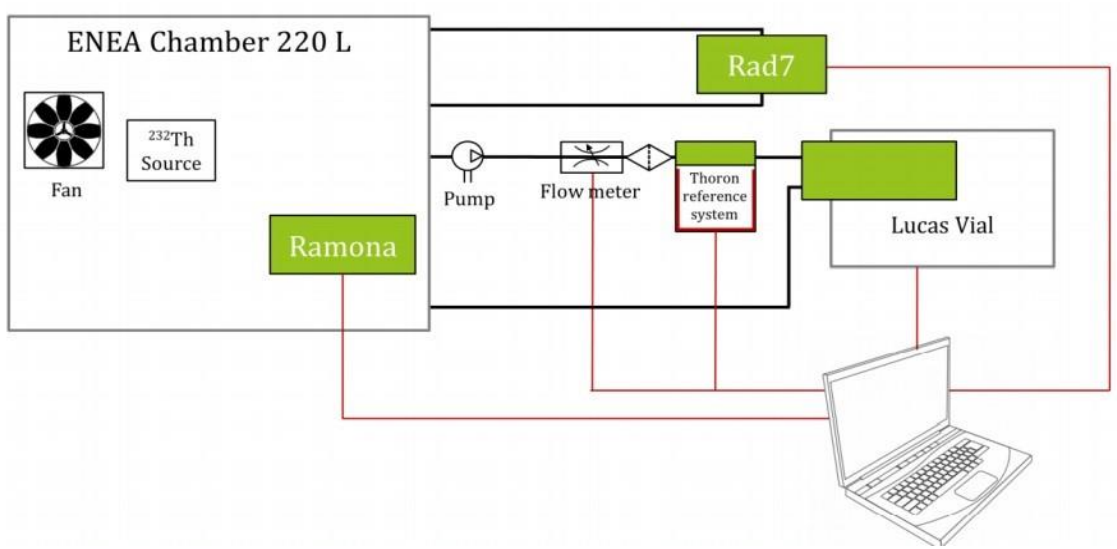
Ottimizzazione e taratura di sistemi di misura di Radon e Toron

- INFN Napoli
  C. Sabbarese, carlo.sabbarese@na.infn.it
- ENEA-INMRI Casaccia
  M. Capogni, marco.capogni@enea.it
  F. Cardellini

- **Il progetto inserito nel progetto europeo traceRadon finanziato da EMPIR e nelle attività di taratura in corso tra l'Università/INFN di Napoli e l'ENEA-INMRI per sistema di misura di gas radioattivi.**
- **Sviluppo di un sistema di misura campione per Radon e Toron per taratura di strumenti di misura dell'attività dei suddetti radionuclidi gassosi.**
- **Nuovo standard Radon/Toron basato su una cella di Lucas in dotazione dell'ENEA-INMRI.**
- **Confronto bilaterale con Università/INFN di Napoli.**
- **Collaborazione su tecniche di simulazione basate sul codice Fluka (laureanda dell'Università della Sapienza – Dipartimento di Ingegneria - di Roma).**

Ottimizzazione e taratura di sistemi di misura di Radon e Toron

- Sviluppo di un sistema di misura campione per Radon/Toron per taratura di strumenti di misura dell'attività dei due radionuclidi gassosi.
- Basato su cella di Lucas in dotazione all'INMRI-ENEA.
- Collaborazione con INFN-Napoli mira alla caratterizzazione attraverso tecniche di simulazione basate sul codice Fluka e alla taratura attraverso un confronto bilaterale di uno strumento di misura dell'INFN-Napoli utilizzato per i due radionuclidi.
- Tesi di laurea con l'Università "La Sapienza" di Roma – Dipartimento di Ingegneria (Riferimento: Romolo Remetti)



Tipico set-up sperimentale usato presso ENEA-INMRI per taratura monitori di Radon e Toron

Cella di Lucas dell'ENEA-INMRI basata su materiale scintillante ZnS(Ag)

TSI - Tematica N. 6

Sviluppo di materiali di riferimento (e sorgenti di taratura) per misure di attività dei radionuclidi a livelli bassi e ultra-bassi

- INFN LNGS

  M. Laubenstein, matthias.laubenstein@lngs.infn.it
- ENEA-INMRI

  P. De Felice, pierino.defelice@enea.it

- **Strumentazione e metodi adatti per misurazioni di attività dei radionuclidi a bassissimo fondo radioattivo (ricerca di eventi rari).**
- **Sorgenti di Taratura (ST) e Materiali di Riferimento Certificati (MRC) da utilizzarsi per definire e verificare la riferibilità delle misure ai campioni delle Unità del SI devono essere opportunamente definiti e realizzati.**
- **A livello internazionale non si dispone di tali ST e MRC. Lo scopo della collaborazione è di colmare, almeno in parte tale lacuna.**
- **Grazie alle competenze teoriche e sperimentali disponibili presso l'INMRI-ENEA e INFN-LNGS, si è attuata una collaborazione con le seguenti fasi:**
  a) **Definizione di materiali e radionuclidi da utilizzare per le ST;**
  b) **Definizione di materiali e radionuclidi da utilizzare per lo sviluppo di un MRC;**
  c) **Raccolta, preparazione e confezionamento del materiale da utilizzare per il MRC;**
  d) **Definizione dello schema da utilizzare per la certificazione delle ST e del MRC.**
  e) **Coinvolgimento di Laboratori esteri ed effettuazione delle misure di caratterizzazione del MRC;**
  f) **Raccolta ed analisi dei dati;**
  g) **Certificazione delle ST e del MRC.**

TSI - Tematica N. 7

Partecipazione nelle attività dell'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM) con particolare riferimento al Working Group Gamma-Ray Spectrometry, con confronti di metodi teorici e sperimentali per correzioni avanzate (effetto somma, autoassorbimento)

- INFN LNGS

  M. Laubenstein, matthias.laubenstein@lngs.infn.it
- ENEA-INMRI

  P. De Felice, pierino.defelice@enea.it

- **INMRI-ENEA e INFN-LNGS collaborano da tempo, in ambito ICRM, per sviluppo e validazione di metodi teorico/sperimentali per correzioni avanzate (autoassorbimento, effetto somma) per spettrometria gamma con incertezze inferiori a pochi percento.**
- **Intensificare collaborazione tra i due laboratori puntando sui rispettivi punti di forza ed individuando i punti di maggiore criticità:**
  a) **Scambio di programmi specialistici per il calcolo delle correzioni in spettrometria gamma;**
  b) **Scambio di codici Monte Carlo sviluppati nei due laboratori e confronto con i risultati di cui al punto a);**
  c) **Confronto di metodi per modellazione e determinazione dei parametri caratteristici di rivelatoriHPGe;**
  d) **Misura di dati nucleari fotonici;**
  d) **Partecipazione congiunta alle attività del WG Gamma-Ray Spectrometry dell'ICRM e proposta di un'attività a coordinamento congiunto ENEA-INFN.**

TSI - Tematica N. 8

Svolgimento di prove di caratterizzazione di strumenti di misura in condizioni di fondo ambientale ultra-basso

- INFN LNGS

  M. Laubenstein, matthias.laubenstein@lngs.infn.it
- ENEA-INMRI

  P. De Felice, pierino.defelice@enea.it

- **Esigenza di accurata determinazione del fondo intrinseco (bianco strumentale).**
- **Bianco strumentale definito come il valore della lettura strumentale in condizioni di misurando (es. attività dei radionuclidi) uguale a zero. Condizione non facilmente realizzabile in normali laboratori, in presenza di radiazioni e radioattività ambientale di fondo.**
- **Esempi:**
  a) **Strumenti di misura del radon per i quali l'avvelenamento da Pb-210 causa un aumento della lettura di bianco;**
  b) **Strumenti prototipi (vedi TAWARA, collaborazione ENEA-CAEN) realizzati per la misura della concentrazione di radionuclidi in acque potabili;**
  c) **Strumenti prototipi (vedi CORSAIR, collaborazione ENEA-CAEN) realizzati per la misura della concentrazione di radionuclidi in rocce.**
- **Bianco strumentale da correggere in fase di taratura e misura.**
- **La collaborazione si propone di studiare le situazioni di bianco strumentale più significative e di cogliere l'opportunità offerta dal Laboratorio di misura di attività a basso fondo dell'INFN-LNGS di poter effettuare misure e caratterizzazioni in condizioni di fondo ambientale notevolmente ridotto.**

TSI - Tematica N. 9

Progetto UE SANDA, valutazione delle conseguenze astrofisiche derivanti dalla misura sperimentale della sezione di cattura neutronica degli isotopi del molibdeno

- INFN Perugia, INFN Bologna

  S. Cristallo, sergio.cristallo@pg.infn.it,

  M. Busso, maurizio.busso@pg.infn.it

  R. Mucciola (PhD stud.), C. Massimi, A. Manna
- ENEA Bologna

  A. Mengoni, alberto.mengoni@enea.it

  B. F. Rocchi, D.M. Castelluccio

- **Continua la sinergia fra INFN-Pg e ENEA-Bo in attività di ricerca con fasci di neutroni, di interesse per l'astrofisica.**
- **Recentemente, la collaborazione risulta ulteriormente rafforzata dalla presenza di un dottorando la cui tesi è incentrata sulla misura sezioni d'urto per cattura neutronica (e sulla valutazione delle conseguenze astrofisiche) che rientrano nel progetto SANDA (PI italiano: Alberto Mengoni, ENEA-Bologna).**

Measurements of the ^{94,95,96}Mo(n,γ) cross section for Astrophysics and Nuclear Technology

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

Proposal to the ISOLDE and Neutron Time-of-Flight Committee

Measurement of ^{94,95,96}Mo(n,γ) relevant to Astrophysics and Nuclear Technology

September 10, 2020

M. Busso[1,2], D. M. Castelluccio[1,3], P. Console Camprini[1,3], N. Colonna[1], S. Cristallo[1,4], C. Domingo-pardo[5], A. Guglielmelli[1,3], J. Heyse[6], S. Kopecky[6], C. Lederer-Woods[7], A. Manna[1,8], C. Massimi[1,8], P. Mastinu[1], A. Mengoni[1,3], P.M. Milazzo[1], R. Mucciola[1,2], C. Paradela-Dobarro[6], T. Rauscher[9], F. Rocchi[3], P. Schillebeeckx[6], N. Sosnin[7], N. Terranova[1,3], G. Vannini[1] and the n_TOF Collaboration[10]

[1] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, INFN, Italy*
[2] *University of Perugia - Perugia, Italy*
[3] *Agenzia per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, ENEA, Italy*
[4] *Istituto Nazionale di Astrofisica, INAF - Teramo, Italy*
[5] *Instituto de Fisica Corpuscular, CSIC - Universidad de Valencia, Spain*
[6] *European Commission, Joint Research Centre, Geel, Belgium*
[7] *School of Physics and Astronomy, University of Edinburgh, United Kingdom*
[8] *Department of Physics and Astronomy, University of Bologna, Italy*
[9] *Department of Physics, University of Basel, Basel, Switzerland*
[10] *www.cern.ch/n_TOF*

Spokesperson: Cristian Massimi (cristian.massimi@bo.infn.it)
Technical coordinator: Olivier Aberle (olivier.aberle@cern.ch)

ENEA
A Mengoni, F Rocchi, DM Castelluccio

INFN-Perugia
S Cristallo, M Busso, R Mucciola (PhD student)
INFN-Bologna
C Massimi, A Manna

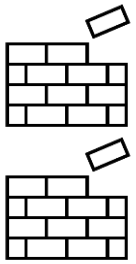
Partially supported by the H2020 Nuclear Data project SANDA

SANDA
Supplying Accurate Nuclear Data for energy and non-energy Applications
HORIZON2020

SANDA WP2/Task 2.2

^{94,95,96}Mo(n,γ) neutron capture cross section

- ✓ proposal for measurement at n_TOF submitted and approved by the CERN Research Board (December 2020)
- ✓ sample orders issued to Neonest AB, Sweden. Expected delivery Q1-2021



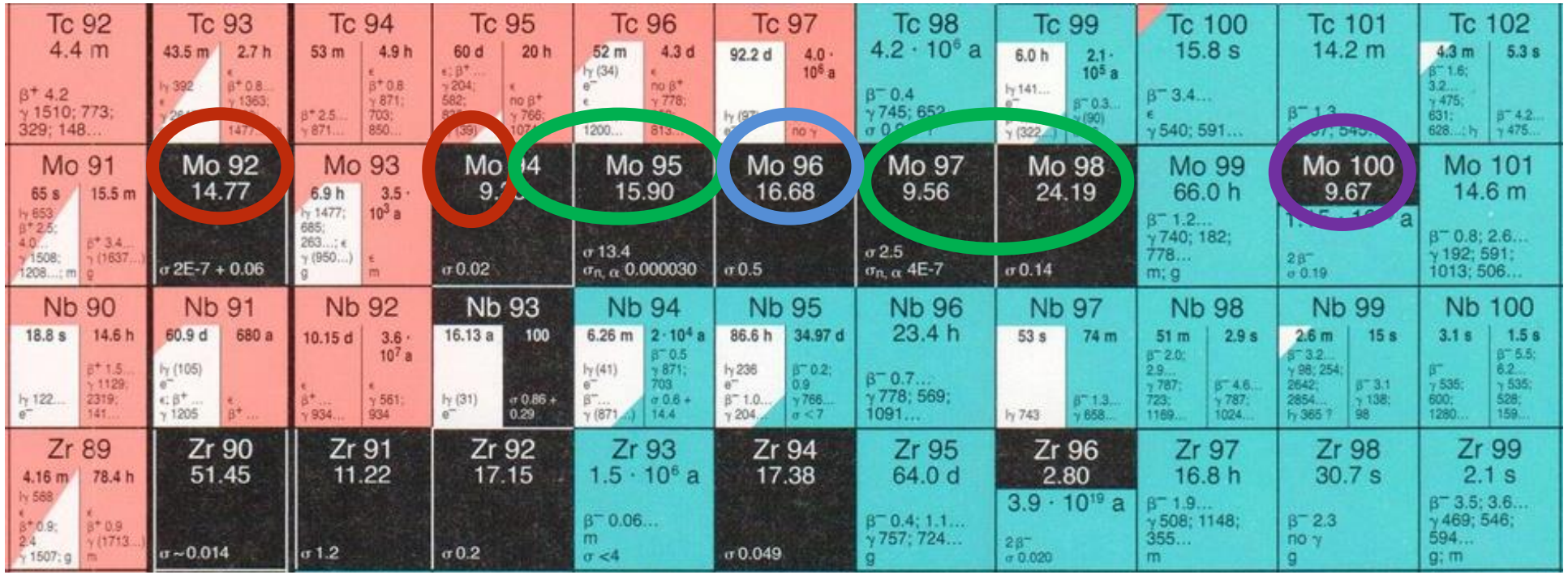
Total cross section measurements to be performed at JRC-Geel (GELINA) during 2021

Measurements to be performed at n_TOF during 2022

SANDA
Supplying Accurate Nuclear Data for energy and non-energy Applications
HORIZON2020

Why ^{94,95,96}Mo?

Molybdenum is relevant for **nuclear astrophysics** and **nuclear technology** and presently **known with large uncertainties**.



p process
s process & r process
s-only isotope
r-only isotope

Why ^{94,95,96}Mo?

nuclear technology

- **fission products** in nuclear reactors
- **Mo-based alloys** used to produce **nuclear fuel** for research, naval and space reactors
- ^{93}Mo ($T_{1/2}$ = 4000 yr) present in spent nuclear fuel (radiotoxicity)
- **^{95}Mo(n,γ)** reaction cross section related to **criticality safety studies**, based on a **burnup credit**
- Related to **safety assessments of spent nuclear fuel** transport, storage and final disposal
- handling of spent nuclear fuel in reprocessing facilities

Proposed measurements

The measurements are proposed at both **EAR1** and **EAR2** measuring stations in order to accurately estimate the neutron capture cross-section for neutron energies **between thermal (0.0253 eV) and 100 keV**.

Isotope	Mass [g]	Enrichment [%]	Areal density [atom/b]
^{94}Mo	2.0	98.90	1.81E-3
^{95}Mo	0.1	> 94.3	8.97E-5
	1.9		1.70E-3
^{96}Mo	0.2	> 95.7	1.74E-4
	1.8		1.59E-3

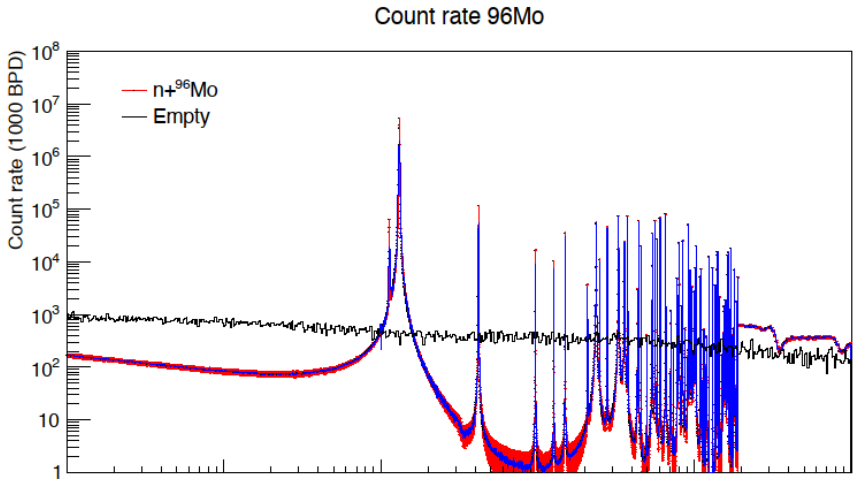
Table 1: Mass and areal density of the three enriched molybdenum samples.

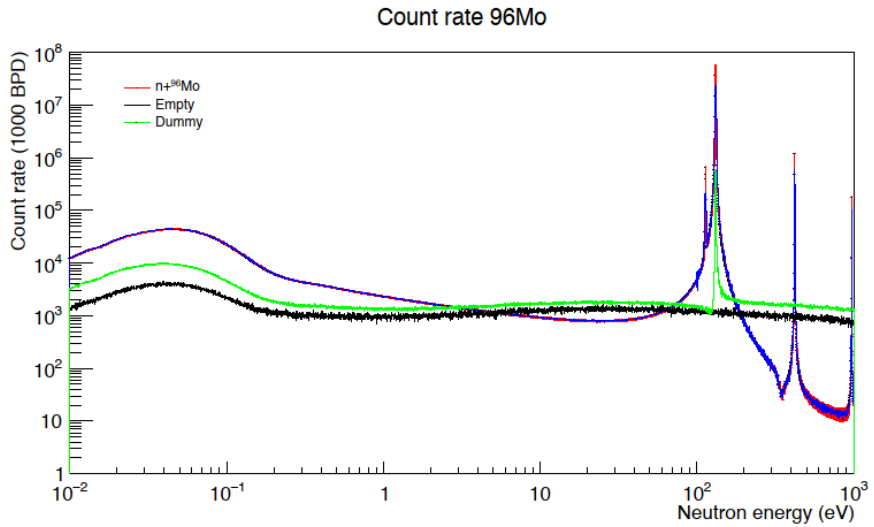
Natural Mo sample will be also used

Metallic discs with a 30 mm diameter

Expected measurement results

Using C_6D_6





$20x10^{17}$ protons on target @n_TOF@ EAR1

alberto.mengoni@enea.it

$5x10^{17}$ POT@ EAR1

TSI - Tematica N. 10

Programma Dark Side - Progetto ARIA

- INFN Cagliari

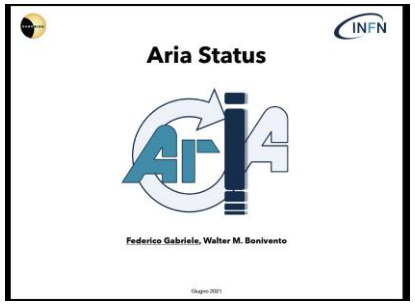
  F. Gabriele, federico.gabriele@lngs.infn.it

  W. Bonivento, walter.bonivento@ca.infn.it
- ENEA Frascati

  T. Pinna, tonio.pinna@enea.it

- **Programma coordinato da INFN e finanziato anche dalla Regione Autonoma Sardegna.**
- **Progettazione e realizzazione di colonna di distillazione criogenica per la produzione isotopi stabili da installare presso la miniera CarboSulcis S.p.A. in Sardegna.**
- **Coinvolgimento Dipartimento FSN dell'ENEA per attività progettuali relative alle analisi di rischio HAZOP (Hazard and Operability), studi di fattibilità, progettazione sistema di pre- e post-processing di CO ed NO.**
- **Previsti l'esecuzione di altre analisi di rischio tipo FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), alberi di guasto (Fault Tree analysis) ed alberi degli eventi (Event Tree analysis).**
- **La partecipazione al progetto permette di valorizzare le competenze ENEA sviluppate nell'ambito della progettazione e realizzazione di impianti speciali ad alto contenuto tecnologico.**

ENEA-INFN Collaboration for INFN - ARIA project



INFN - ARIA Project

DarkSide experiment (INFN-LNGS) requires Argon isotope Ar40.
Aria is a plant hosting a 350m cryogenic isotopic distillation column, the tallest ever built, which is being installed in a mine shaft at Carbosulcis S.p.A., Nuraxi-Figus (SU), Italy. Aria is one of the pillars of the argon dark-matter search experimental program, lead by the Global Argon Dark Matter Collaboration.
It was designed to reduce the isotopic abundance of 39Ar in argon extracted from underground sources, called Underground Argon (UAr), which is used for dark-matter searches. Indeed, 39Ar is a β-emitter of cosmogenic origin, whose activity poses background and pile-up concerns in the detectors.
Separating 39Ar from 40Ar by cryogenic distillation with Aria for dark-matter searches, 2021, DOI: 10.1140/epjc/s10052-021-09121-9

ENEA contribution in collaboration

- **ENEA-FSN-TEN Frascati expertise:**
  - Probabilistic Nuclear safety analysis methodology and techniques (e.g. Failure Mode and Effects analysis (FMEA), Hazard and Operability studies (HAZOP)**.**
  - Chemical engineering / process for isotopic separation (e.g. Hydrogen isotopes).
- **ENEA-FSN Frascati experience:**
  - Safety Analysis of large distillation column (ITER – Water Detritiation System)

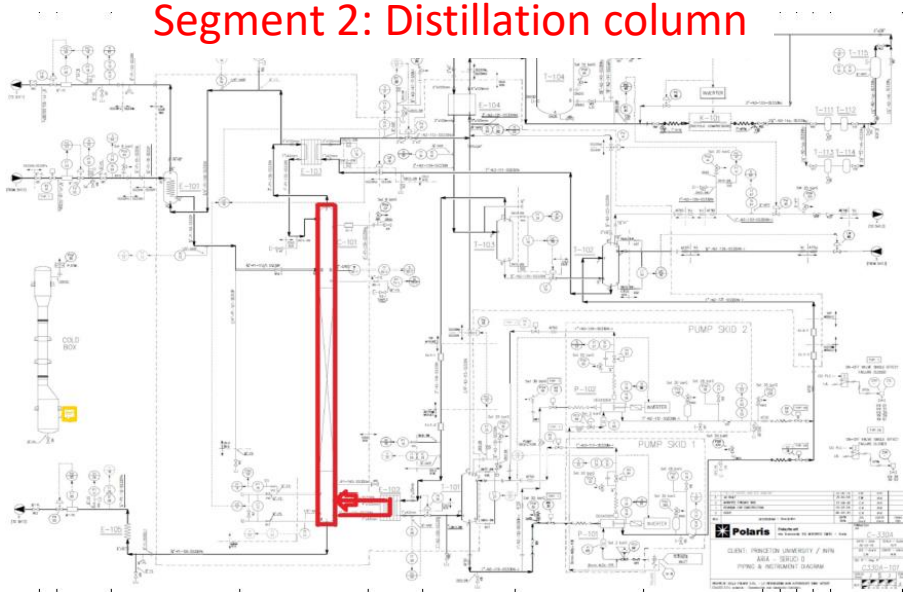
ENEA-INFN Collaboration for INFN - ARIA project

Hazard and Operability (HAZOP) study performed

Technique:

- *4 days of design analysis sessions performed by 15 experts (analysis techniques, chemical process, plant) from CARBOSULCIS (Porcu, Farenzena, Sabiu), ENEA (Pinna, Dongiovanni, Santucci, Tosti), INFN – LNF (Vescovi) INFN-CA (Razeti) INFN-LNGS (Gabriele, Tartaglia), POLARIS S.r.l. (Canesi, Rucai) PRINCETON UNIVERSITY (Ianni), UNICA(Sulis)*
- *9 Plant segments identified: Ar Gas supply to column, Distillation Column, transfer lines for product and distillate, N2 supply and liquefier, vacuum system for cold box isolation.*
- *12 process variables (flow, pressure, temperature, confinement, levels, etc.) analysed for each segment in terms of possible deviations (less/low, more, reverse, etc..)*
- *Deviations evaluated in terms of: causes, consequences, detections and controls*
- *Residual risks criticality has been analysed in terms of likelihood of occurrence and severity of consequences (on workers, environment) other than possible impact on plant (availability)*
  - *Most events with acceptable residual risk*
  - *22 events classified with residual risk requiring possible design improvements in detection/control systems,*
  - *1 event strictly requiring design improvement*
- *48 design improvement actions identified*

Segment 2: Distillation column



ENEA-INFN Collaboration for INFN - ARIA project

Sulcis site-inspection for first HAZOP analysis 02/2019

Sulcis site: first module installation 04/2021
Courtesy of F. Gabriele (INFN)

TSI - Tematica N. 11

Collaborazione nell'ambito dell'esperimento n_TOF sullo sviluppo di rivelatori self-powered per alti flussi di particelle.

- INFN Bologna

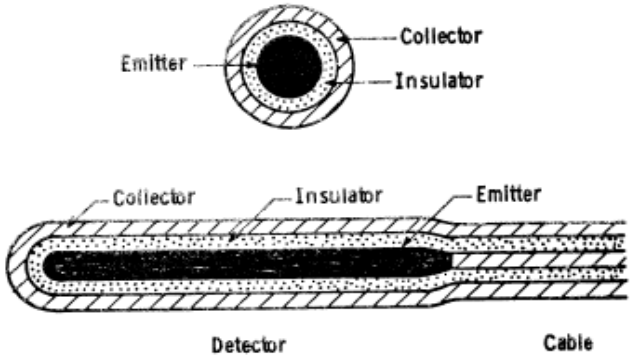
  C. Massimi, massimi@bo.infn.it
- ENEA Frascati

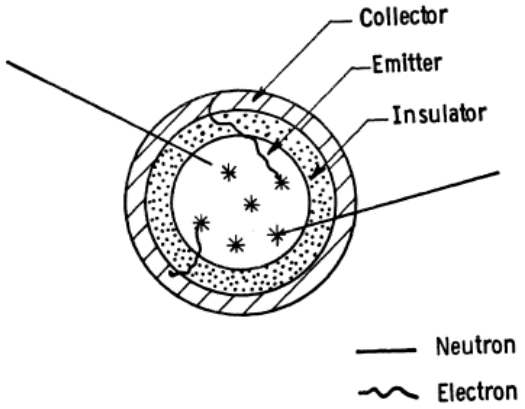
  S. Fiore, salvatore.fiore@enea.it

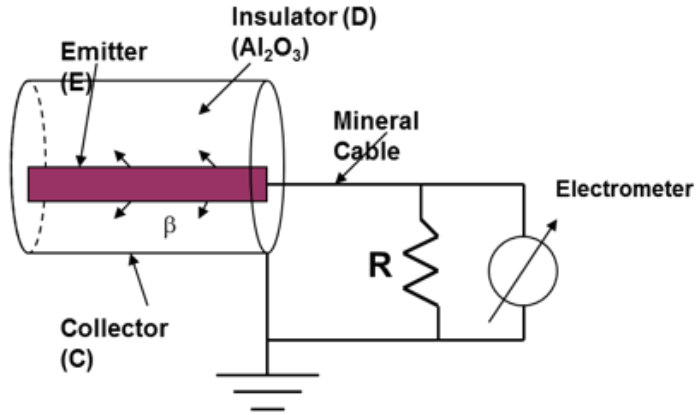
- **Ambito task EUROfusion WPENS: campagne di misura sul target di spallazione al CERN.**
- **Studio risposta di rivelatori Self Powered (SPND), inizialmente pensati per n termici, con flusso di particelle misto e neutroni da termici a decine di MeV.**
- **Buona risposta temporale e linearità (obiettivo utilizzo in moduli di irraggiamento intenso dei materiali nella futura facility DONES).**
- **Consolidato interesse della collaborazione n_TOF e della componente INFN, progettando un nuovo setup dove installare stabilmente un set di SPND.**
- **Le attività utilizzano fondi EUROfusion e INFN (2020 ed il 2021).**
- **Possibili sviluppi: prosecuzione misure sui SPND e studi di radiation hardness di materiali sulla nuova target station.**

Self Powered Neutron Detectors (SPNDs)

- **SPNDs** are **rugged miniature** devices, commonly used for **fixed in-core reactor monitoring** both for safety purposes and neutron and gamma flux mapping.
- Operate **without any bias voltage.**
- Usually constructed in a **coaxial configuration** with a **central emitter characteristic of each device** type. The other electrode or metallic sheath is called collector and the two are separated by a coaxial insulator. Typical **diameter is 3 mm.**



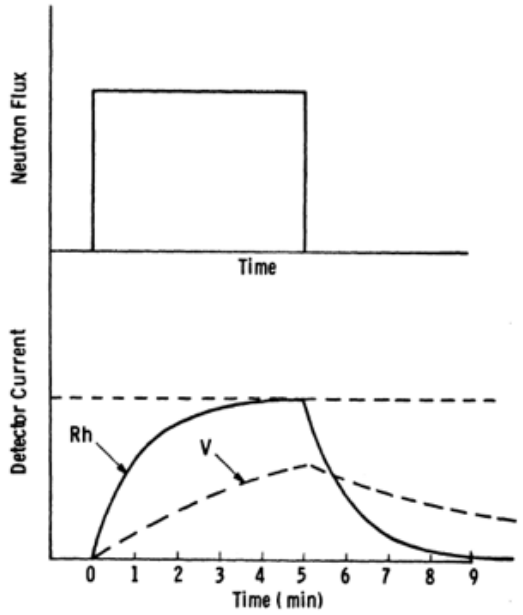




- V, Co, Rh are common elements used as emitter in the thermal neutron SPNDs.
- Alternative materials should be used to cover fast neutron energy range or secondary charged particles.

Contributions to signal formation in SPND

Different reactions can take place in the electrodes and the insulator, inducing a current through the emission of electrons



- $(\beta - decay)$: the nuclei of the emitter are activated by a neutron capture and decay with β electron emission
  → **delayed** response
- (n,γ): photons from a radiative capture interact within the detector through Compton and photoelectric effect
  → **prompt** response
- (γ,e^-): external photons interact within the detector through Compton and photoelectric effect
  → **prompt** response

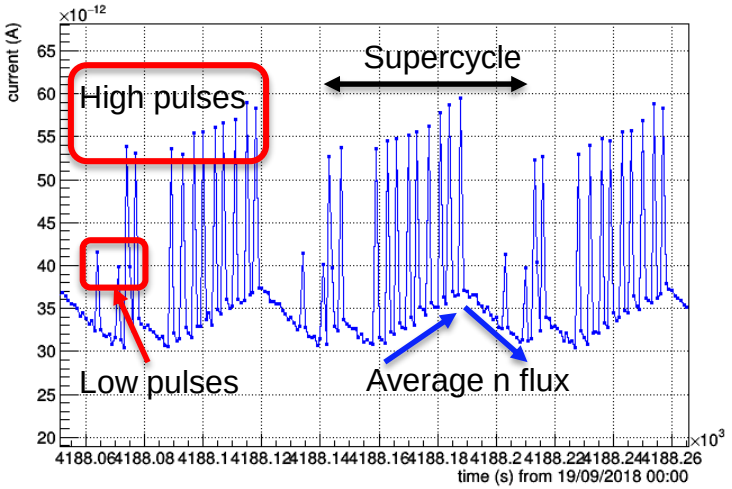
→ The net current is the algebraic sum of all the contributions

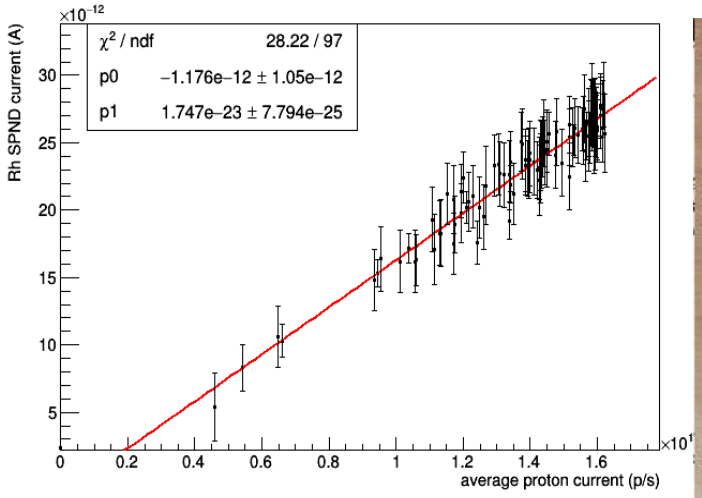
n_TOF: high flux of fast neutrons with SPND

- Experiment on **n_TOF spallation target** (10^{11} n/cm^{2}s up to GeV) with SPNDs demonstrated:

✓ **SPND response under several operation conditions w/gamma and charged background.**

✓ **Delayed signal proportional to neutron flux, prompt signal proportional to proton bunch charge, low noise** considering detectors position and cable length.





➢ This led to the **installation of SPNDs in the new nTOF Target#3** assembly **to monitor the neutron yield** independently from PS accelerator data.

SPD for beam-target high flux measurement

- Measurements in proximity of targets can be challenging due to the high particle flux.
- **SPNDs exploit a good candidate technology to be adopted where radiation hardness is concerned to monitor target yield** (measurement and diagnostics purposes).
- **A generalisation of the Self Powered Detector to be sensitive to both neutrons and photons, plus secondary charged particles, would even extend their use.**

Further actions:

- ***New design development*** *(sensitive and structural materials, shapes and dimensions);*
- ***Monte Carlo models*** *of target and beam areas of facilities;*
- ***Prototypes*** *with dimensions and materials optimised to maximise s/n ratio;*
- ***installation of new prototypes in n_TOF NEAR station close to the target;***
- *exploitation of the NEAR station for detector development and material irradiation.*

TSI - Tematica N. 12

Prosecuzione delle misure di efficienza su un prototipo di rivelatore per neutroni veloci.

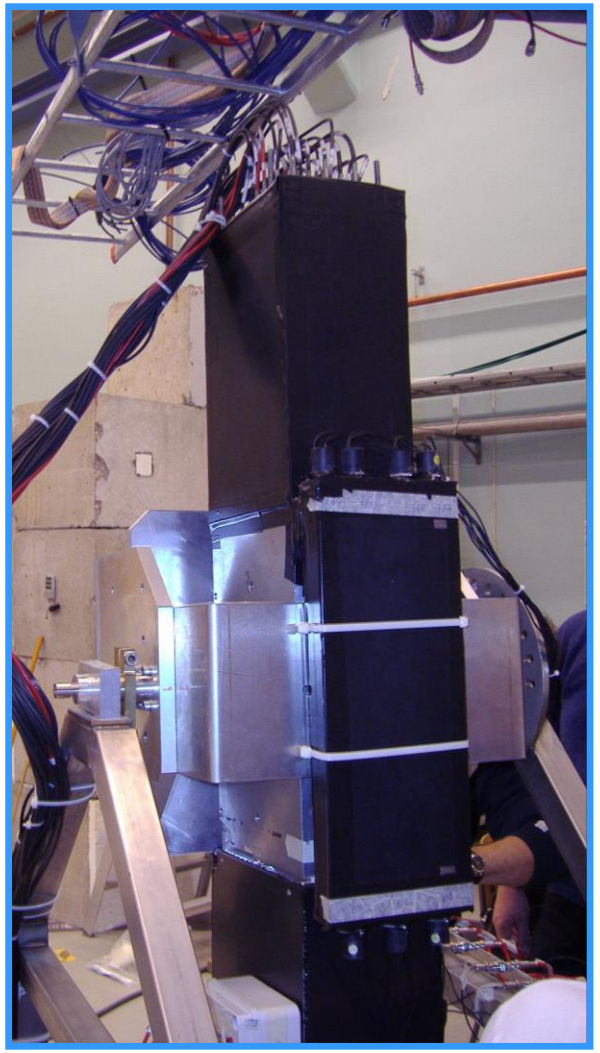
- INFN Frascati
  S. Miscetti, stefano.miscetti@lnf.infn.it
- ENEA Frascati
  S. Fiore, salvatore.fiore@enea.it

- **Attività non ancora formalizzata ma già ampiamente discussa a livello scientifico.**
- **Prosecuzione delle misure di efficienza su un prototipo di rivelatore per neutroni veloci, derivato dal calorimetro elettromagnetico dell'esperimento KLOE dei LNF.**
- **Disponibilità di un prototipo di questo calorimetro, su cui sono state fatte e pubblicate misure di efficienza per neutroni, e la possibilità di misure a FNG, stimolano l'ampliamento a misure con valori in energia allora non esplorati.**

Neutron detection with sampling calorimeter

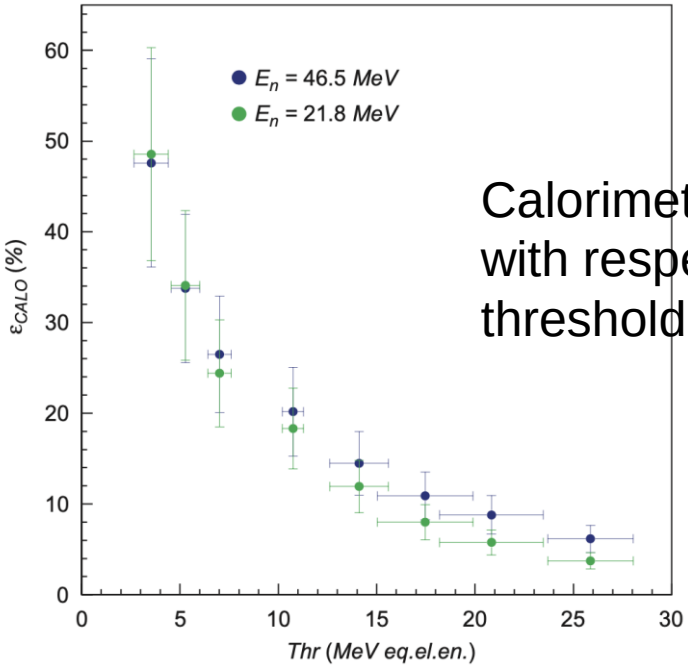
- Detection of **neutrons of 10^1-10^2 MeV performed with organic scintillators**: **efficiency** scales with thickness $\Rightarrow$ **1%/cm.**
- Use of **high-Z material improves neutron efficiency**.

- Preliminary estimate with **KLOE experiment data** (*n* produced by K^- interactions in the apparatus) shows **high efficiency (~40%)** for neutrons with $E_n < 20$ MeV, **confirmed by the KLOE MC.**
- **Tests have been performed with the neutron beam of the the Svedberg Laboratory in Uppsala.**

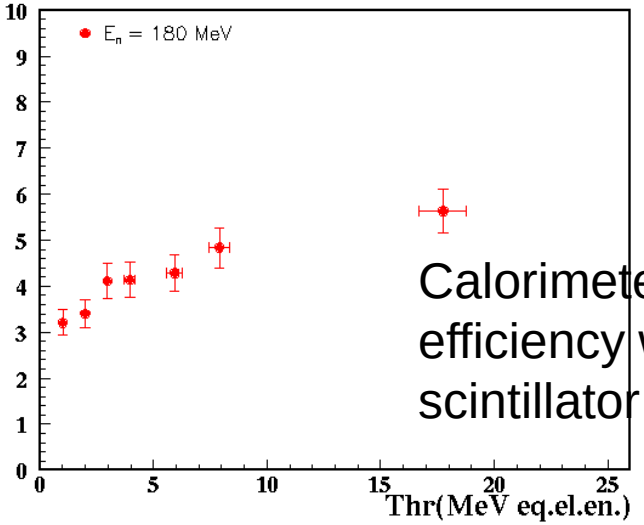


Neutron detection efficiency measurements

- Experimental campaigns with 174, 46 and 22 MeV quasi-monoenergetic neutron beam from p-Li interactions.
- **Sampling electromagnetic calorimeter Pb-Scintillating fibers**, 50-50% and 80-20% sampling fraction, high sampling frequency.
- Calorimeter efficiency measuerd with respect to threshold in equivalent electron energy.
- **Higher efficiency with respect to an equivalent thickness of plastic scintillator.**



Calorimeter efficiency with respect to threshold



Calorimeter relative efficiency wrt equivalent scintillator thickness

Further development with 14 and 2.5 MeV

- The availability of the **Frascati Neutron Generator FNG** inspired the prosecution of the **experimental campaigns with 14 and 2.5 MeV neutrons**, to complement TSL data with efficiency measurements at lower neutron energies.

- Sampling electromagnetic calorimeter technique could be exploited in diagnostics for nuclear fusion.

- More complex geometries, also involving circulating liquid scintillator, could be exploited for critical applications .

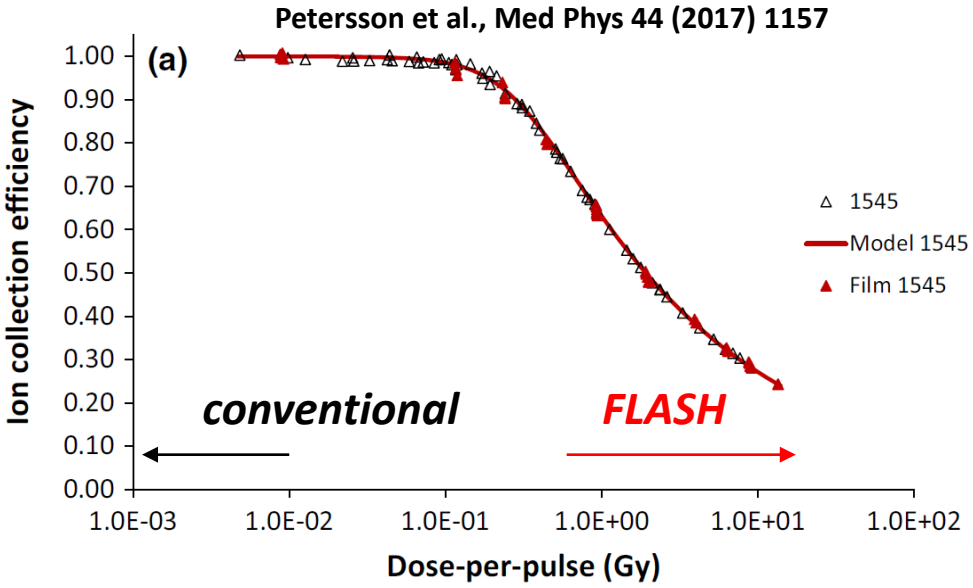
- First discussions and experimental plans, to be further developed.

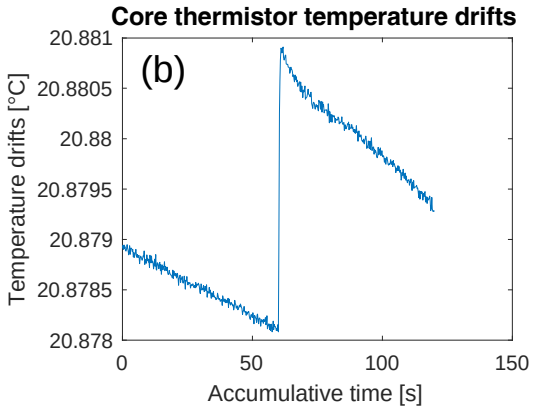
TSI - Tematica N. 13

Metodi di misura per dosimetria di riferimento in fasci FLASH

- INFN Catania
  F. Romano, francesco.romano@ct.infn.it
- ENEA-INMRI Casaccia
  M. Pinto, massimo.pinto@enea.it
  A. Embriaco, alessia.embriaco@enea.it

- **Affrontare i problemi (fig. a) dei sistemi di misura rivolti alla dosimetria di riferimento per fasci ad alto rateo di dose (Gy/s) ed alta dose per impulso (Gy/pulse) con elettroni, protoni e fotoni (FLASH radiotherapy).**
- **Le limitazioni di misura basate sulla ionometria potranno esser affrontate con sistemi basati sulla calorimetria (fig. b), facendo leva sulle opportunità che essa offre in regime di alto rateo di dose, rispetto alla ionometria.**





F. Romano et al., Journal of Physics (2020)

GRAZIE

P. De Felice[1], P. Valente [2]

1) ENEA - Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti
2) INFN Roma - Università degli Studi di Roma Tor Vergata

pierino.defelice@enea.it

paolo.valente@roma1.infn.it