

Aggiornamento dalla CSN5

■ Grant giovani

Approvato dal CD il nuovo bando per il 2015 nella riunione di fine maggio. La pubblicazione sarà a giorni. I contratti saranno ancora 6, di cui 3 finanziati dalle altre CSN

■ Call da finanziare nel 2016

Bando disponibile sul sito della CSN5 al link http://www.infn.it/csn5/docs/Call_2016.pdf
Quest'anno le call saranno "aperte" su tutte le tematiche di ricerca di CSN5, in numero probabilmente non superiore a due, ma ci sarà anche una call "chiusa" con specifico argomento di ricerca: "Nuove tecniche di rivelazione per futuri esperimenti finalizzati alla rivelazione diretta della materia oscura". Per quest'ultima call si potranno finanziare parzialmente anche più proposte, se si riterrà di rimandare la scelta finale della proposta da finanziare al 2016.

■ Bilancio di previsione 2016

È stato recentemente approvato dalla GE il bilancio di previsione 2016 di CSN5. Il totale è di 5.3 Meuro, invariato rispetto al 2015. Considerando gli impegni già presi, che assommano almeno a 3.4 Meuro per gli esperimenti in corso e a 0.4 Meuro per i grant giovani, tenendo conto del finanziamento delle call aperte e chiuse, che dovrebbero richiedere un investimento intorno al Meuro, e delle dotazioni, per le nuove proposte "standard" restano circa 0.4 Meuro, il che significa che saranno finanziate solo quelle attività ritenute innovative e strategiche.

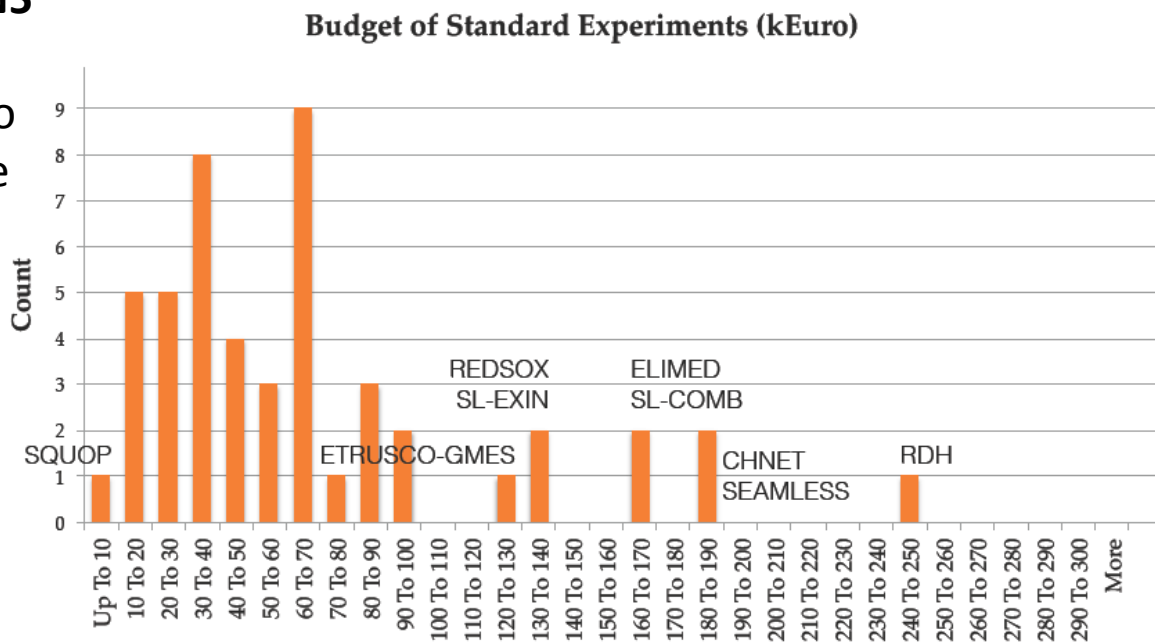
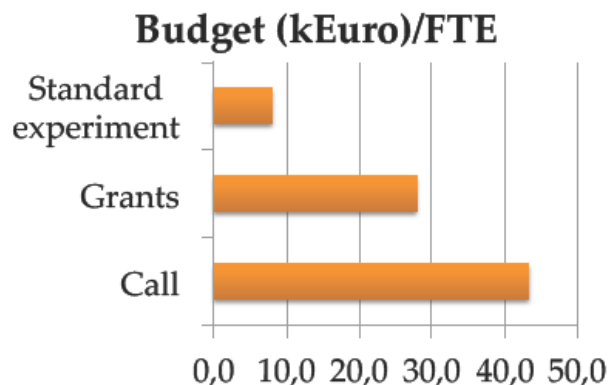
Aggiornamento dalla CSN5

■ Aggiornamento continuativo dell'anagrafica

Dallo scorso marzo e' possibile aggiornare l'anagrafica nel database durante tutto l'anno, e non piu' solo a luglio per l'introduzione dei preventivi. La situazione di gruppo V e' da sistemare, soprattutto in funzione delle attivita' non finanziate nel 2015, riassegnando le percentuali ad altri gruppi. Marina e' abilitata a fare le modifiche.

Valutazione GLV delle sigle di CSN5

Partito a marzo il lavoro di valutazione GLV. Richiesto l'accesso ai dati di preventivi, assegnazioni e consuntivi in modo aggregato per Call e Grant



Consuntivi 2014 – Gruppo V

Esperimenti in sezione:

- [Apix2 – L. Ratti](#)
- [Apotema – A. Salvini](#) (terminato)
- [Calocube – P. W. Cattaneo](#)
- [Chipix65 – G. Traversi](#)
- [MC-INFN – A. Fontana](#) (Fluka), [A. Rimoldi](#) (Geant4)
- [Meridian-Mira – A. Ottolenghi](#) (terminato)
- [Mice – A. Debari](#) (terminato)
- [Nettuno – S. Bortolussi, S. Altieri](#)*
- [Neutargs – S. Bortolussi](#) (terminato)
- [Normet – A. Buttafava](#)‡ (terminato)
- [Pixfel – M. Manghisoni, L. Ratti](#)*
- [Radiostem – A. Ottolenghi](#)
- [Redsox – P. Malcovati](#)
- [Tantara – A. Buttafava](#)‡ (terminato)
- [Spes – A. Tomaselli – A. Zenoni](#) (progetti speciali)
- [INFN-E – M. Prata](#) (progetti speciali)

**14 iniziative di CSN5,
come nel 2013**

•Responsabile nazionale

‡ In pensione da fine 2014, sostituito da Daniele Dondi

Gruppo V 2014

64 sigle finanziate nel 2014 (71 nel 2013, 80 nel 2012, 90 nel 2011), di cui 52 ordinari, 9 grant giovani (3 del 2013 e 6 del 2014) e 3 call del 2013. A luglio erano state presentate 78 iniziative, di cui 2 call, entrambe non finanziate.

A ottobre 2014 sono stati inoltre finanziati 164 k€ di anticipi 2015.

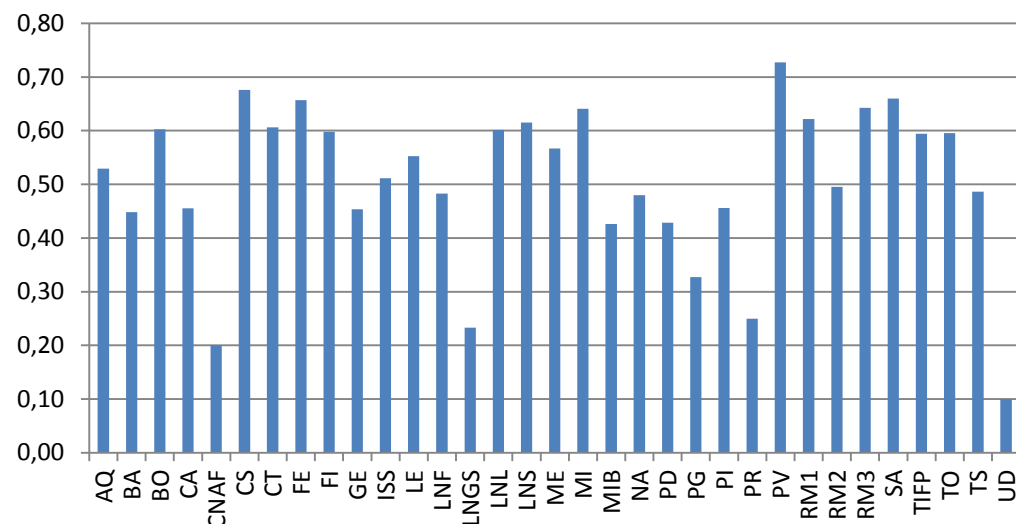
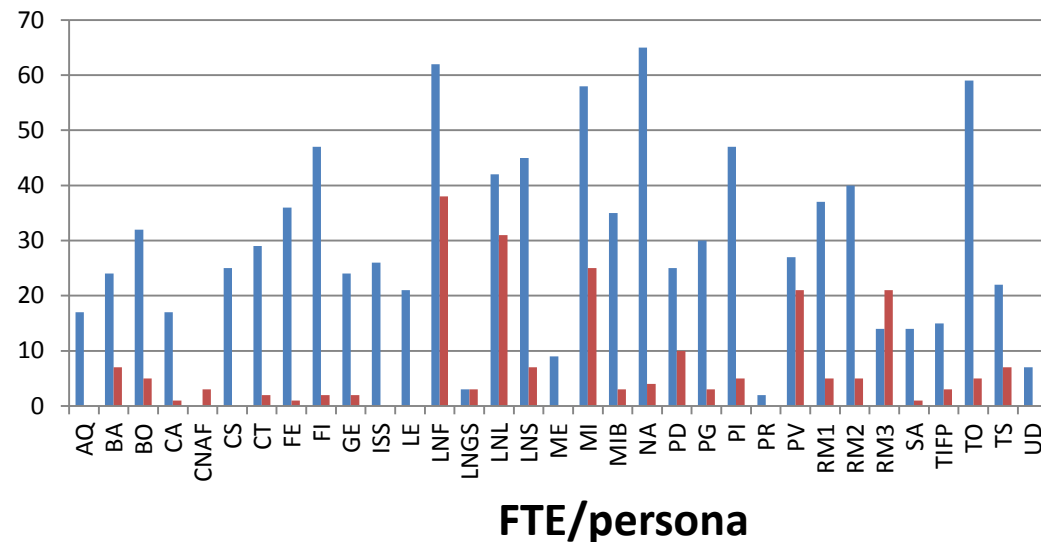
CSN5 - Bilancio 2014

Descrizione	Richieste 2014	Finanziato 2014	Differenza rich – fin 2014	Differenza fin 2014 - 2013
Esperimenti	8980,0	4142,0	-4938,0	-82,0
Esp. su dot.	123,5	15,0	-108,5	-261,0
Dotazioni	1294,0	890,0	-404,0	+362,0
Totali	10397,5	5047,0	-5350,5	+19,0

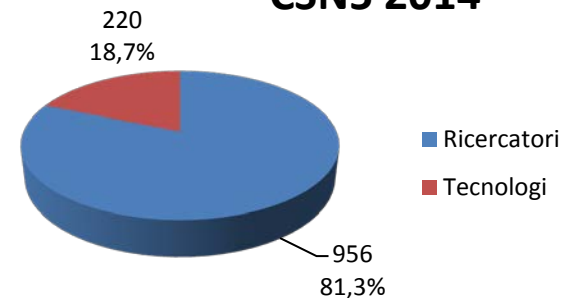
Nelle dotazioni sono inclusi gli anticipi 2015 per gli esperimenti non ancora aperti

Distribuzione afferenti nel 2014 - nazionale

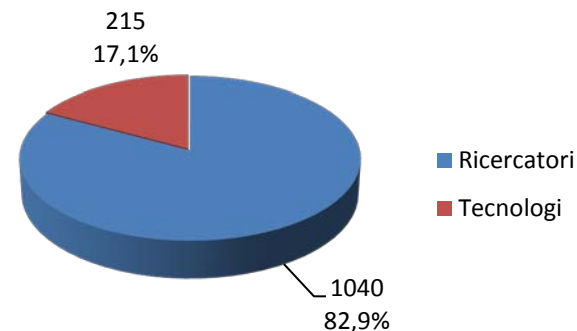
Ricercatori e tecnologi afferenti a CSN5 nelle sezioni e Laboratori nazionali - 2014



Rapporto ricercatori/tecnologi CSN5 2014



Ricercatori/tecnologi 2013



Afferenti attivita' CSN5 2014

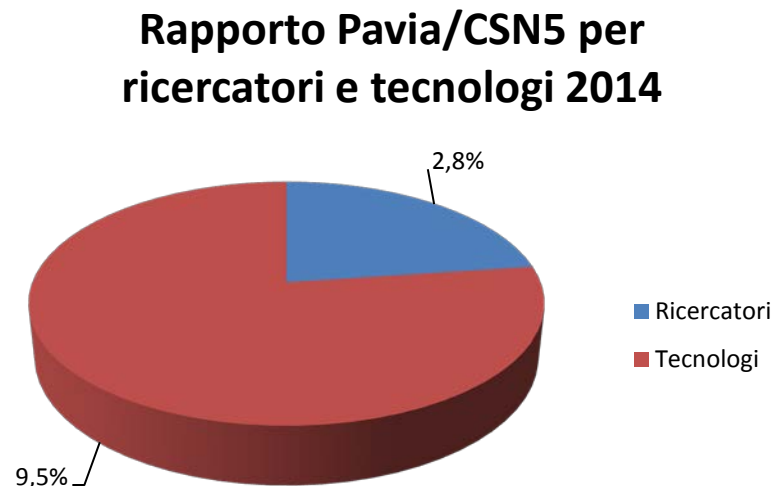
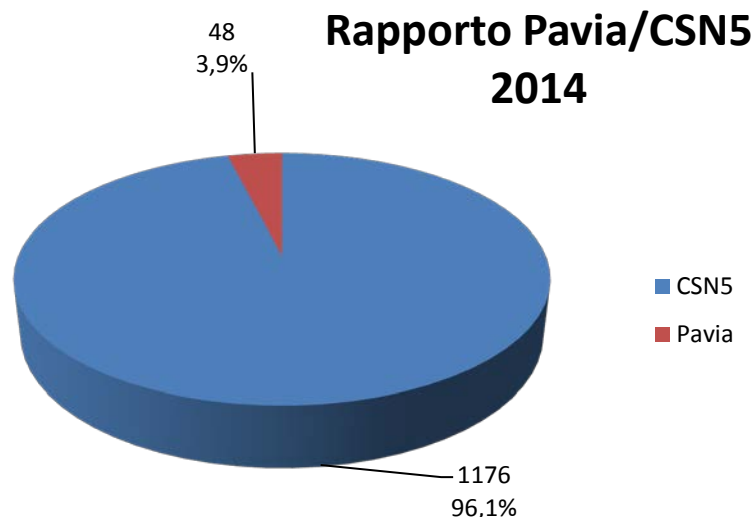
Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona
956	220	1176	642,5	0,55

Variazione rispetto al 2013

Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona
-8,08%	2,33%	-6,37%	-13,01%	-7,40%

Distribuzione afferenti nel 2014 - Pavia

Pavia e' la 9^a struttura nazionale per numero di afferenti al gruppo V (era 7^a nel 2013, 5^a nel 2012), la 5^a per gli FTE (era 5^a nel 2013, 4^a nel 2012)



Afferenti gruppo V Pavia - 2014

Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona
27	21	48	34,9	0,73

Afferenti gruppo V Pavia - 2013

Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona
35	16	51	39,1	0,77

Variazione - 2013/2012

Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona
-22,86%	31,25%	-5,88%	-10,74%	-5,57%

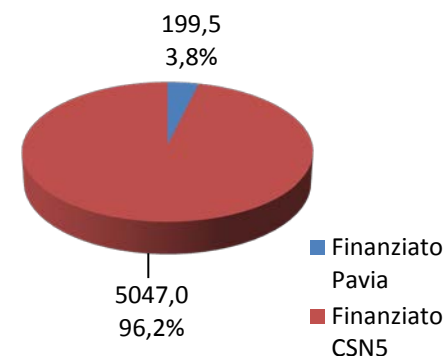
Distribuzione finanziamenti nel 2014 - Pavia

Pavia e' l'11^a struttura nazionale per assegnazioni (era 9^a nel 2013, 4^a nel 2012)

Dotazioni 2014

Capitolo	Descrizione	Stanziano	Variato	Subjudice e Cong.	Impegni	Disponib.	Proposta in corso	Disp. Teorica
U102 121405	MISSIONI NON SOGGETTE A	3.000,00	5.000,00	0,00	7.151,33	848,67	0,00	848,67
U103 130120	MATERIALE DI CONSUMO AT	1.500,00	-533,14	0,00	958,49	8,37	0,00	8,37
U103 141610	MANUTENZIONE ORDINARIA	500,00	-500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U103 141940	SERVIZI TRASPORTI E FAC	500,00	-280,00	0,00	219,60	0,40	0,00	0,40
U103 142310	LICENZE SOFTWARE	1.000,00	-1.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U104 210420	SEMINARI	500,00	-200,00	0,00	300,00	0,00	0,00	0,00
U212 520110	IMPIANTI ATTREZZATURE M	1.000,00	5.250,00	0,00	6.189,16	60,84	0,00	60,84
Totale:		8.000,00	7.736,86	0,00	14.818,58	918,28	0,00	918,28

Finanziato CSN5/Pavia 2014



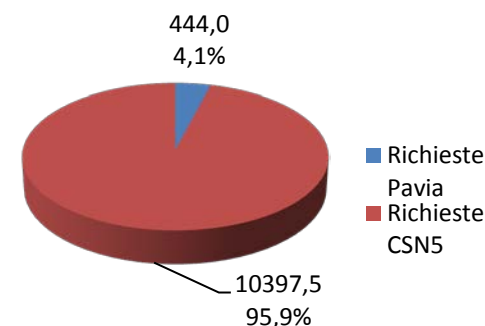
Gruppo V Pavia - Bilancio 2014 (k€)

Descrizione	Richieste	Finanziato	Differenza
Esperimenti	400,5	182,5	-218,0
Esp. su dot.	0,0	0,0	0,0
Dotazioni	43,5	17,0	-26,5
Totali	444,0	199,5	-244,5

Variazione 2014/2013

Descrizione	Richieste	Finanziato	Differenza
Esperimenti	7,49%	10,94%	-4,76%
Esp. su dot.	-100,00%	-100,00%	100,00%
Dotazioni	20,83%	-35,85%	-178,95%

Richieste finanziarie CSN5/Pavia 2014



Gruppo V Pavia e CSN5 - Bilancio 2014 (k€)

Richieste Pavia	Richieste CSN5	Finanziato Pavia	Finanziato CSN5
444,0	10397,5	199,5	5047,0

APiX2

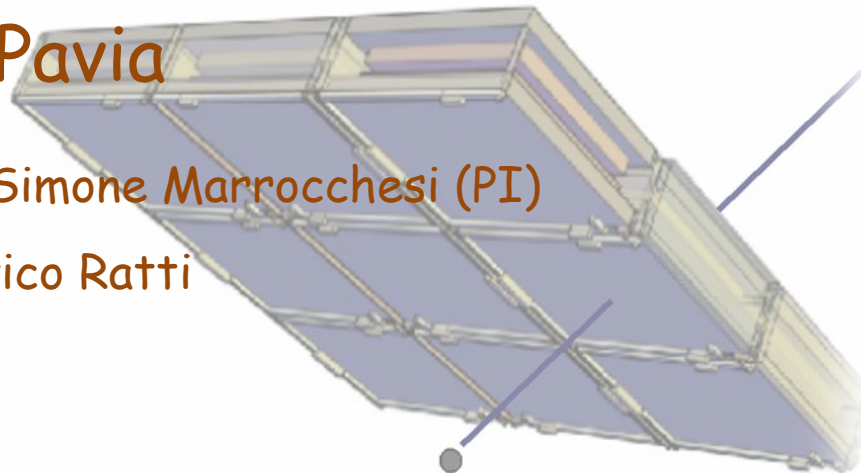
Development of an Avalanche Pixel Sensor for Tracking Applications

Consuntivo scientifico 2014

Sezione di Pavia

Resp. Naz.: Pier Simone Marrocchesi (PI)

Resp. Loc.: Lodovico Ratti



INFN Pavia, Consiglio di Sezione, 12 giugno 2015

APiX2 project

- **Goal of the project:** developing a position sensitive detector based on the vertical integration of quenched Geiger cells (SPADs) fabricated in CMOS technology, with the potential for minimizing the detector thickness and the related multiple scattering effects and for low noise, low power operation
- **Duration:** 3 years Budget 2014: 29k euro
- **Participating INFN groups and external institutions:**
 - INFN Siena (gruppo collegato a Pisa)
 - INFN Pavia (contributing with 1 FTE)
 - TIFPA Trento
 - INFN Padova (DTZ5)
 - Laboratoire APC, Université Paris-Diderot/CNRS
 - Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Science

From a single layer to a dual tier SPAD

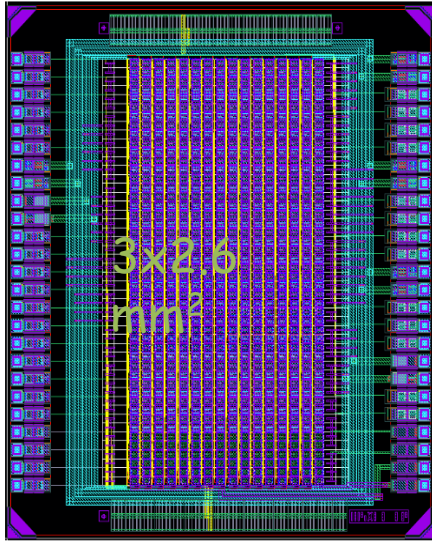
- The basic element of the APiX detector is an avalanche diode, based on a standard CMOS process and operated in the quenched Geiger mode
 - a large, intrinsic gain is provided by the detector itself, with no need for preamplification → less power dissipation
 - no amplitude measurement, pure binary information (hit/no hit)
 - the sensitive layer of the device is very thin, limited to the depleted region around the pn junction → virtually no charge loss if the substrate is thinned down
- readout electronics in the same substrate as the sensor
- An avalanche detector may feature a dark count rate of the order of 10 MHz/cm²
- The goal is to improve dark rate performance by using the coincidence signal between two overlapping pixels (sensor pairs)

Prototypes in LFoundry and XFAB technologies

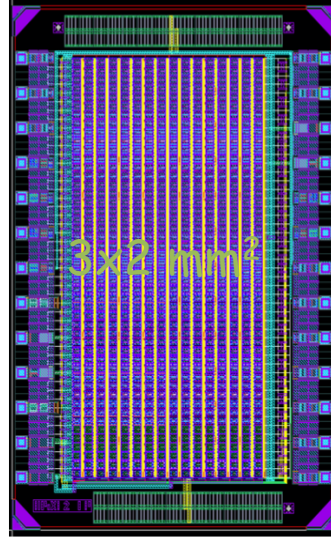
- During the first year of the project, two parallel paths have been explored
 - Design and fabricate a dedicated chip for concept validation in the LFoundry 150 nm CMOS process
 - + SPAD and ancillary electronics already tested
 - + minimum effort and safe solution
 - SPAD performance not optimal (high DCR, low active thickness)
 - Consider an alternative process with the potential for providing improved efficiency and lower DCR → XFAB 180 nm CMOS process for automotive applications with high-voltage (up to 40 V) option
 - + thicker active region
 - + large set of process layers which can be combined for best SPAD performance
 - lower DCR not granted, quite complicated process
 - vertical integration to be investigated and pursued with a second prototype run

Test chip in LFoundry technology

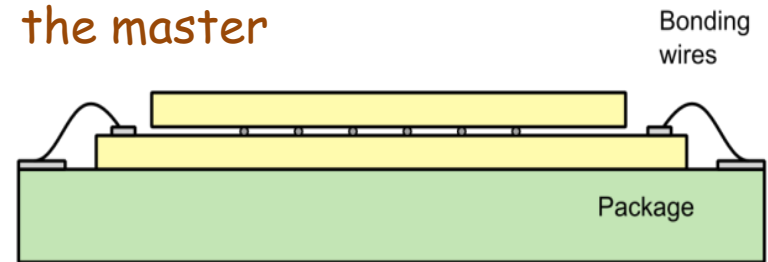
chip1



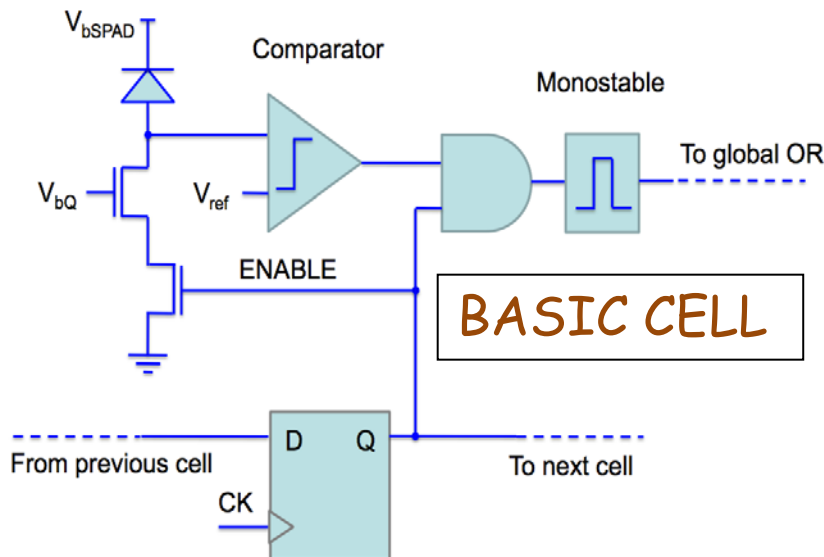
chip2



Chip pair consisting of a master (chip1), which is larger and includes more functions, and a slave (chip2), to be flipped and bump bonded on the master



Side view



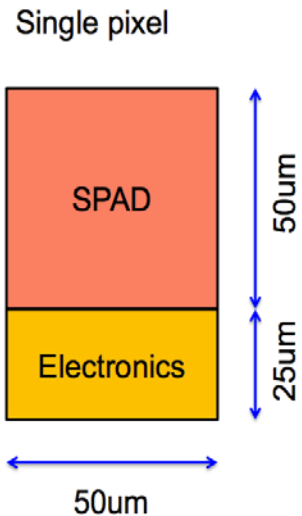
Both master and slave chips can be individually tested before bonding

Each cell in the array can be individually disabled; when enabled, it provides a pulse with a fixed duration as a response to the SPAD avalanche

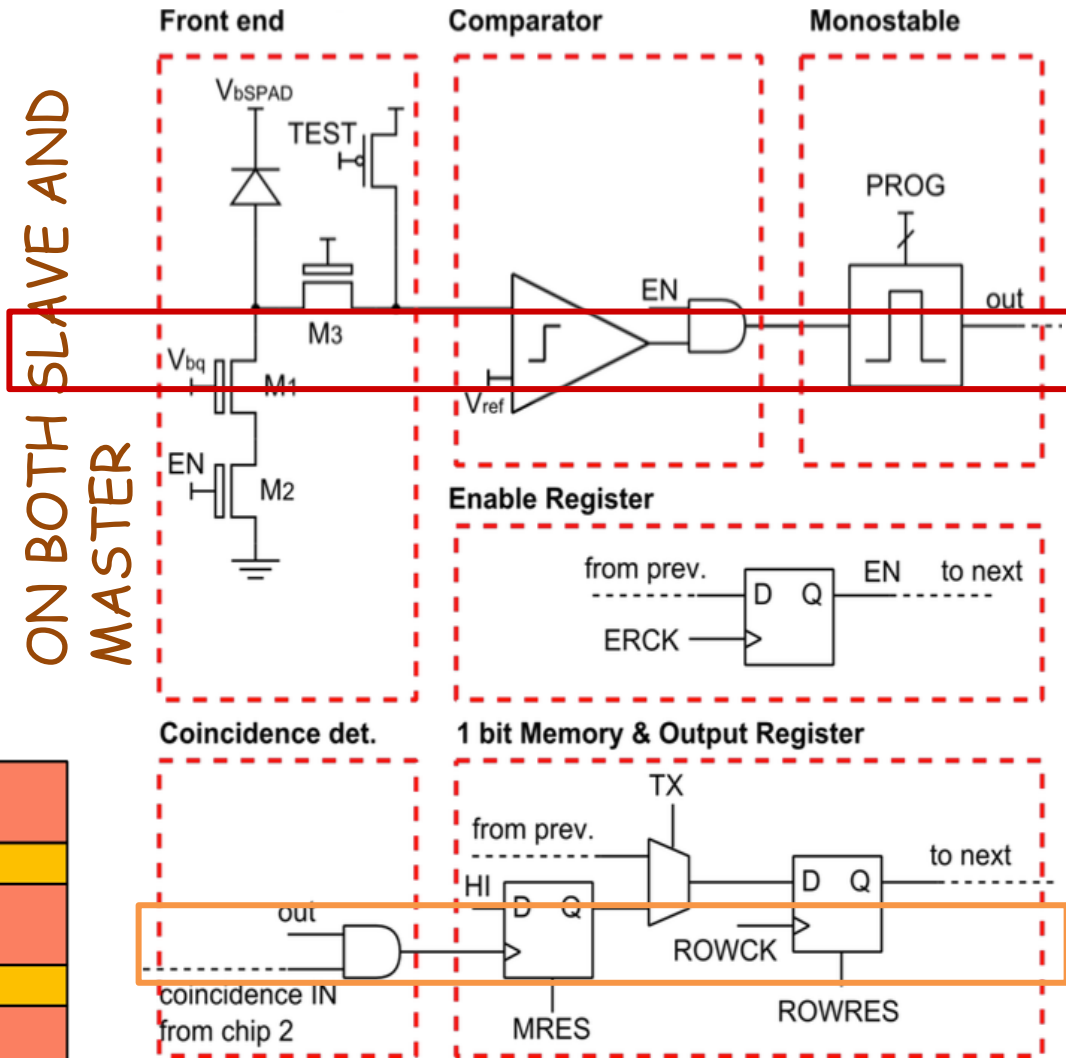
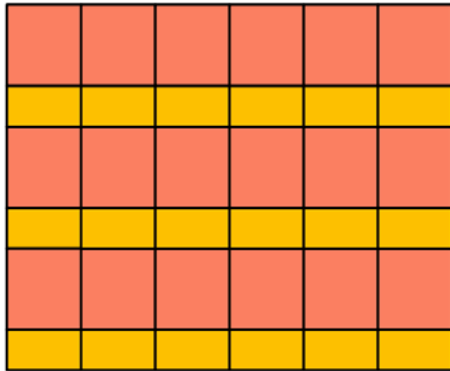
The array includes 16 strips, 48 cells each; SPADs with different active areas (30 to 45 μm side) and with passive quenching only

Test chip in LFoundry technology

- Chips designed by Lucio Pancheri (Trento); delivered in April this year and currently under test in Trento
- To be bump bonded with Fraunhofer IZM technology



Array arrangement

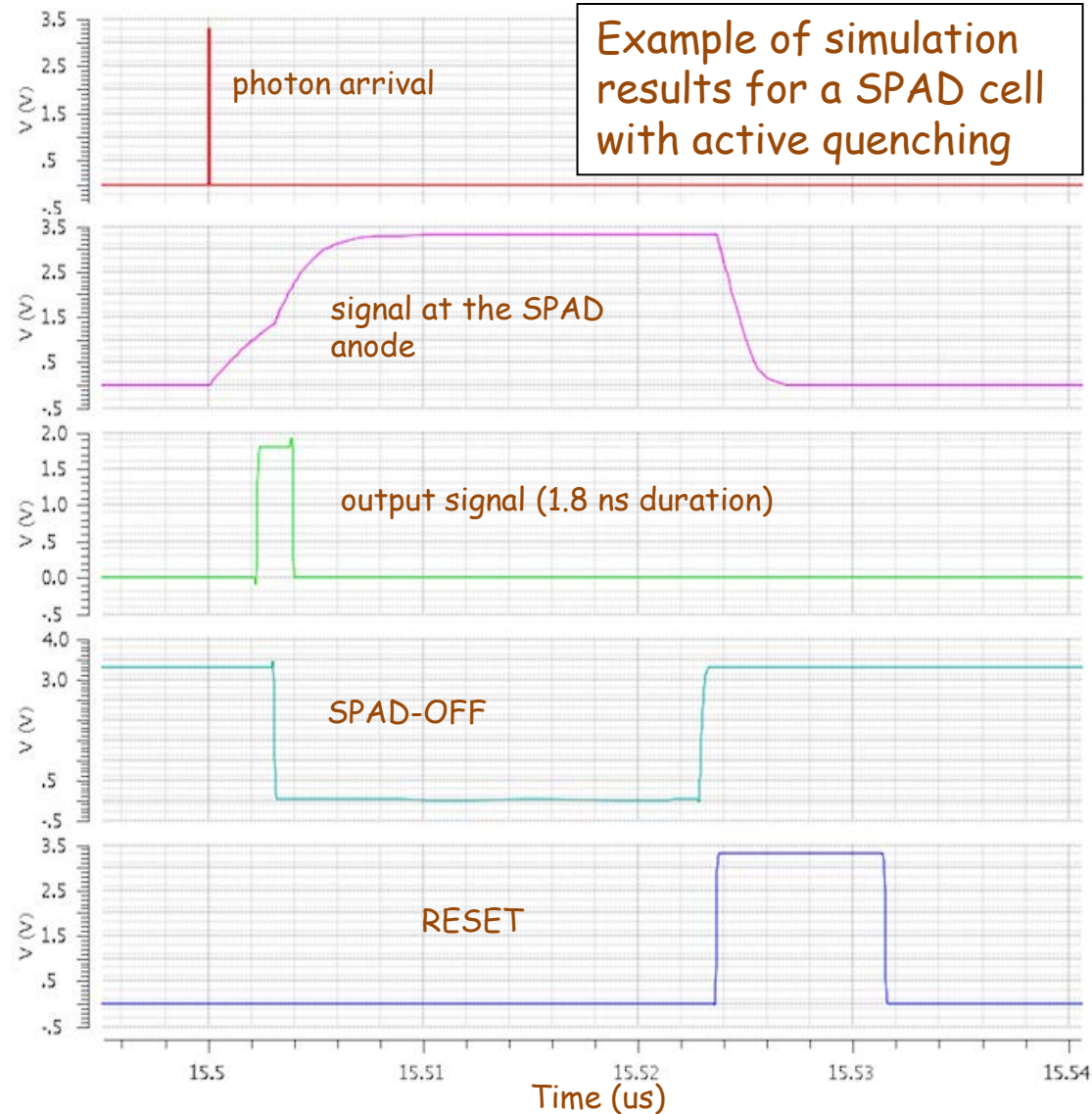


ONLY ON THE MASTER CHIP

Test chip in XFAB technology

- Submitted end of April 2015 with Europractice (mini@sic option), delivery expected by July
- Main purpose is the evaluation of the technology in view of SPAD sensor design for the APIX project
- The chip includes several test structures:

- single SPADs for process characterization
- an array of SPADs with different active area and three different kinds of front-end: 1) passive quenching, 2) active quenching with fixed threshold, 3) active quenching with adjustable threshold

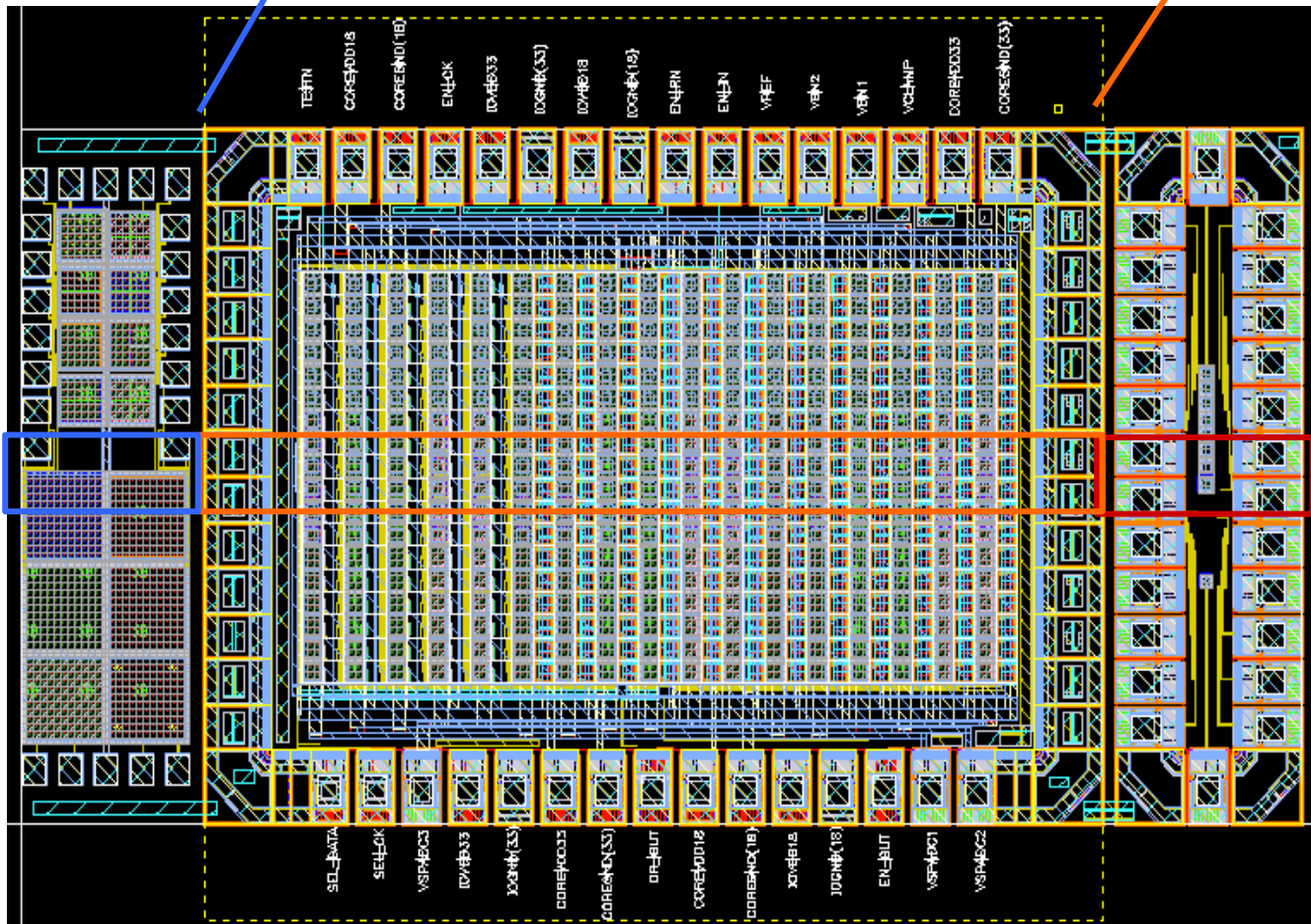


Test chip in XFAB technology



Large SPADs (200x200, 100x100 μm^2 for technology characterization (C-V measurements, breakdown voltage)

SPAD array (17 strips, 18 SPADs each), different active area, three different kinds of front-end, active and passive quenching



Small SPADs (10x10, 20x20 μm^2) with simple resistive, passive quenching for direct characterization through external front-end circuits

Chip designed by Luca Lodola (Pavia)

Size: $\sim 3 \times 1.5$ mm²

APOTEMA

Accelerator-driven Production Of
TEchnetium/Molybdenum for medical Applications

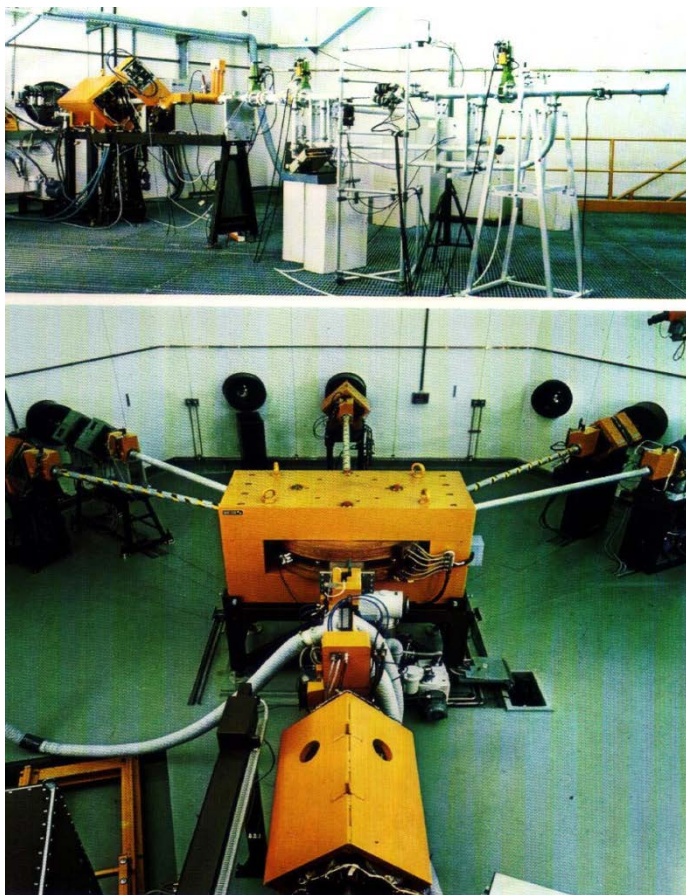
Consuntivo attività di esperimento CSN5 INFN 2012-2014

APOTEMA research activities on alternative $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ production routes

APOTEMA research activities performed by INFN in collaboration with other Italian Universities and Research Institutions, have focused on the following items:

- a) Comprehensive theoretical investigation related to the accelerator-produced $^{99\text{m}}\text{Tc}$ via (p,x) reaction on ^{100}Mo -enriched metallic moly material;
- b) New excitation functions data for $^{100}\text{Mo}(\text{p},\text{x})$ reaction related to accelerator production of $^{99\text{m}}\text{Tc}$;
- c) Determine the impact of $^{99\text{g}}\text{Tc}$ on the pharmaceutical labeling efficiency at higher $^{99\text{g}}\text{Tc}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ isomeric ratios expected by accelerator-produced Tc;
- d) First studies about Radiochemical **separation/purification processes optimization** for accelerator $^{99\text{m}}\text{Tc}$
- e) Assessment of $^{99\text{g}}\text{Tc}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ isomeric ratios as well as other Tc-contaminants impact on the **final imaging quality**;

The irradiation facility at Joint Research Center (EU-JRC) lab in Ispra: The Scanditronix MC40 cyclotron



TRIGA MKII 250KW
University of Pavia



University of Pavia - INFN Contributions

The University of Pavia - INFN focused its activities on the separation methodology and extraction of ^{99m}Tc from ^{100}Mo target.

The separations with Methyl Ethyl Ketone (MEK) has been performed several times in order to evaluate the cross section for direct production of ^{99g}Tc at different energy using nuclear and ICPMS techniques. This activity was carried out in collaboration with Milano-Bicocca and LASA Laboratories.

Separations were made also with the proposes to test the labeling in Ferrara Laboratory.

During these activities Pavia has done test on the ^{100}Mo recovery:

The Laboratory has tested different approaches for the recovery of Mo oxide enriched after separation of ^{99m}Tc . The one with best results is the precipitation of ammonium isopolymolibdate at pH 2-4. After filtration with no ashes filter is possible to choose the final oxidation state either as Mo oxide or as metallic deposition. In order to obtain Mo oxide the ammonium salt was calcinated at about 700°C .



- Separation methodology for the extraction of ^{99m}Tc from ^{100}Mo target.
- Some aspects of Methyl Ethyl Ketone (MEK) separation has been developed with particularly attention on the separation and recovery time that has big impacts to the final results.
- Has been tested different digestion approaches in connection to different separation methods.

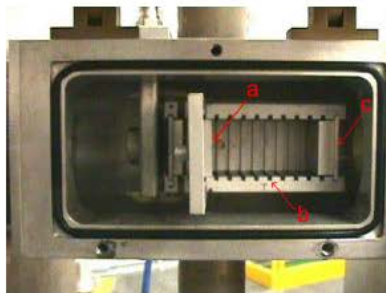
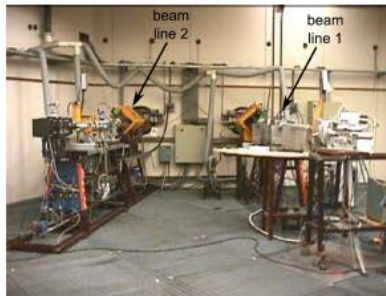


General Experimental setup

“Stacked foil” preparation



Cyclotron irradiation JRC



Measurements LASA



Manpower

Composizione gruppi APOTEMA anno 2014

INFN APOTEMA groups:

- LNL
- Padova
- Ferrara
- Milano (2014)
- Pavia (2013)

LNL	FTE	INFN-Pd	FTE	INFN-Mi	FTE
Esposito J.	0.4	Sartori P.	0.2	Groppi F.	0.8
Comunian M.	0.1	De Nardo L.	0.2	Bonardi M.	1.0
Atroshchenko K.	1.0	Gisella G.	0.5	Manenti S.	1.0
Melendez-Alafort L.	0.5	Rossi P.	0.5		2.8
	2.0	Mammano F.	1.0		
			2.4		

External support & collaboration activities

- JRC Ispra labs
- Milan Univ. Bicocca
- Experim. Med. Dept
Ferrara Univ.
- Nuclear med. Dept.
St. Orsola Hospital
(Bologna)

INFN-Fe	FTE	INFN-Pv	FTE
Gambaccini .M	0.20	Salvini A.	0.5
Taibi A.	0.6	Oddone M.	0.5
Di Domenico G.	0.2	Alloni D.	0.2
Duatti A.	1.0	Prata M.	0.6
Pupillo G.	1.0	Strada L.	0.8
Uccelli L.	0.5		2.6
Boschi A.	1.0		
	4.5		

Persone (Ric. +Tec.) 26
TOTALE FTE 14.3

Average 2012-2014 ~ 13 FTE

Summary overall budget (CSN5) (FY 2012-2014)



FY	Missioni interne	Missioni estere	Inventariabile /trasporti	Consumo	Manuten zioni	Apparati	Totale
2012	1.0	2.0	8.0	34.5	0.0	5.5	51.0
2013	5.5	2.5	1.5	41.0	0.0	5.0	55.5
2014	8.0		6.0	44.0	5.5	0.0	65.5
Grand TOTAL	19.0		15.5	119.5	5.5	10.5	172.0

Finanziamento Pavia 2014: 9k euro

Strong scientific synergy with the government funded “Premium Project” LARAMED

CaloCube

Consiglio di Sezione

P.W. Cattaneo, A. Rappoldi

Call in gruppo V:

Sviluppo di calorimetria omogenea ad alta
accettanza per esperimenti di raggi cosmici
nello spazio

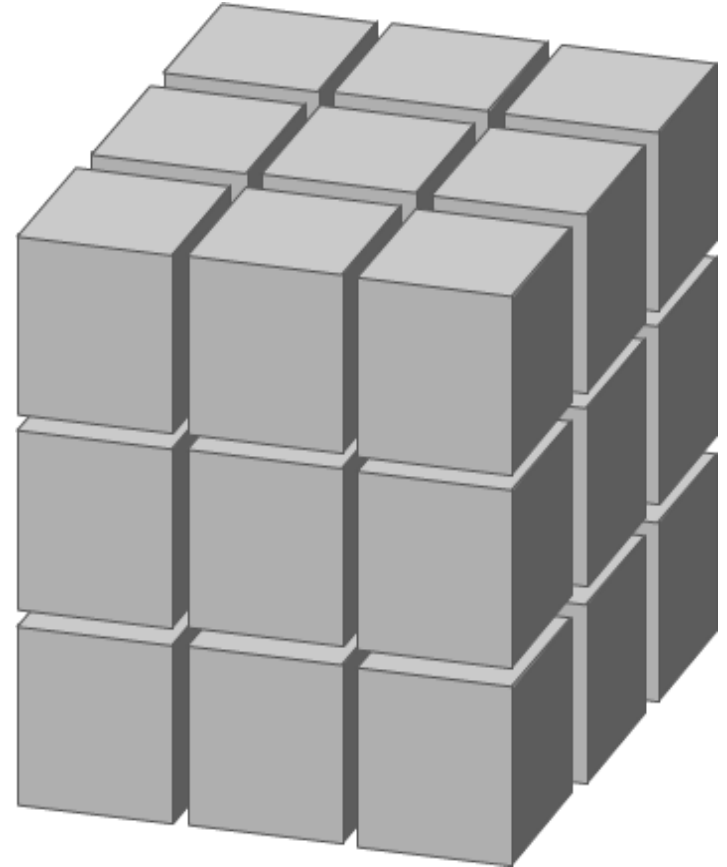
Spin off di GAMMA400

Aperto anche ad altri contributi

PI Oscar Adriani Università Firenze

Calorimetro

- Scientific requirements:
 - **Homogeneous and isotropic design**
 - **Highly segmented in 3 dimensions**
- Several configurations have been simulated, both with BGO and CsI(Tl) crystals.
Selected configuration:
→ **Cubic crystals of CsI(Tl)**



Publications

- Bongi et al., CALOCUBE: an approach to high-granularity and homogeneous calorimetry for space based detectors, J.PhysConf.Ser 587 (2015) 1, 012029

Pavia in Gamma-400/CaloCube



Pavia is studying

- the available infrastructure in Pavia for irradiation tests (γ , n, charges particles) of components of the calorimeter (LENA, CNAO)
- Calibration in space of the calorimeter with laser/LED system or using physics signal

Finanziamento Pavia nel 2014: 7k euro

CHIPIX65: An innovative CHIP for a hybrid PIXel detector, using CMOS 65nm technology, for experiments with extreme particle rates and radiation at future HEP colliders

Responsabile nazionale: Natale Demaria, INFN Sez. di
Torino

Responsabile locale: Gianluca Traversi

Consuntivo dell'attività 2014

INFN Pavia, Consiglio di Sezione, 12 giugno 2015

Pavia Team

Name	Position	Commitment (2014)
Valerio Re	P. O.	0.2
Gianluca Traversi	R. U.	0.2
Massimo Manghisoni	R. U.	0.2
Carla Vacchi	R. U.	0.2
Francesco De Canio	Dottorando	0.2
Lorenzo Fabris	Dottorando	0.2
Benedetta Nodari	Dottoranda	0.2
NUMERO TOTALE DI RICERCATORI		1 (0.2 FTE)
NUMERO TOTALE DI TECNOLOGI		6 (1.2 FTE)
PERSONALE FULL TIME EQUIVALENT		1.4

Finanziamento Pavia 2014: 5k euro

CHPIX65: Project Outline

- INFN Call Project 2013
- Large community in INFN interested to CMOS 65nm for new generation of a pixel chip
- CHPIX65 is a unique opportunity for an efficient propagation across INFN of CMOS 65nm technology and constitutes the greatest collaboration on a microelectronics project ever made across INFN. **Perfect Timing with R&D needs of CMS and ATLAS to build future pixel phase 2 detector**
- Participant Research Units: BA, MI, PD, PV, PG, PI, TO
 - 35 members of which 20 are micro-electronics designers. 9.85 FTE. 6 units involved in CMS, 1 in ATLAS
- Work Packages and responsables:
 - Radiation Hardness - A. Paccagnella (PD)
 - Digital Electronics - R. Beccherle (PI)
 - Analog Electronics - A. Rivetti (TO)
 - Chip Integration - V. Re (PV), V. Liberali (MI)

Main activities of the Pavia group in 2014

The Pavia group is involved in WP1 (radiation hardness), WP3 (analog electronics) and WP4 (chip integration)

➤ WP1

- Irradiation of MOSFETs transistors up to 1 Grad (at the moment 100 Mrad with X-rays has been reached, 1 Grad with low-energy protons is foreseen in autumn)
- Irradiation of bandgaps up to 1 Grad (at the moment 230 Mrad with X-rays has been reached, 1 Grad with low-energy protons is foreseen in fall, irradiation with neutrons is foreseen next year)

➤ WP3

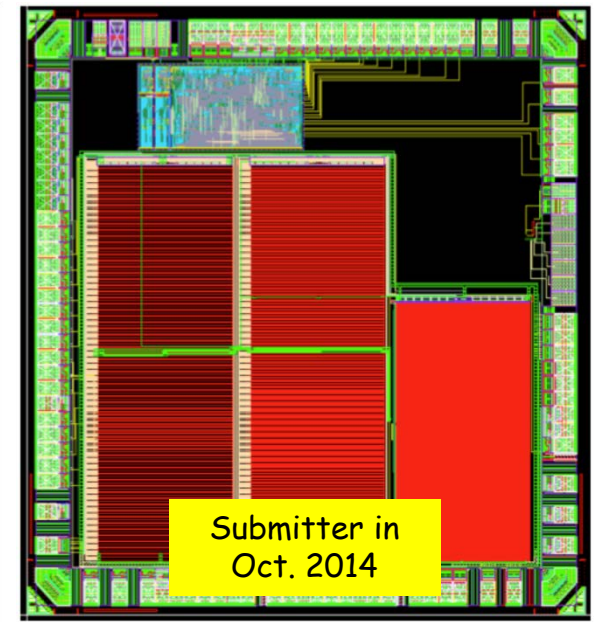
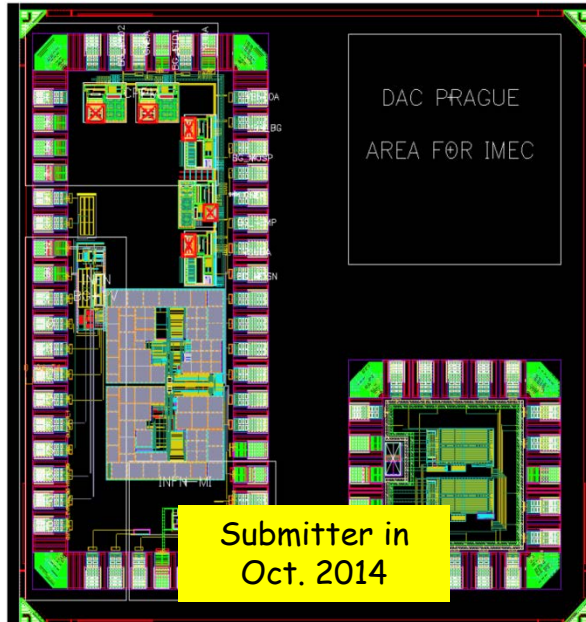
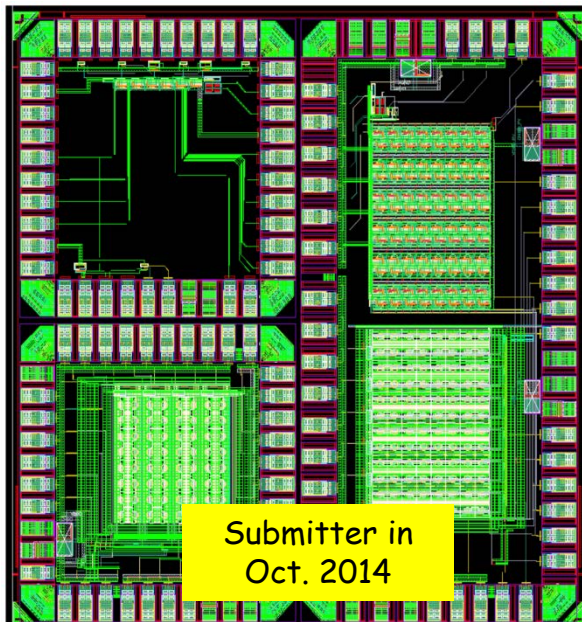
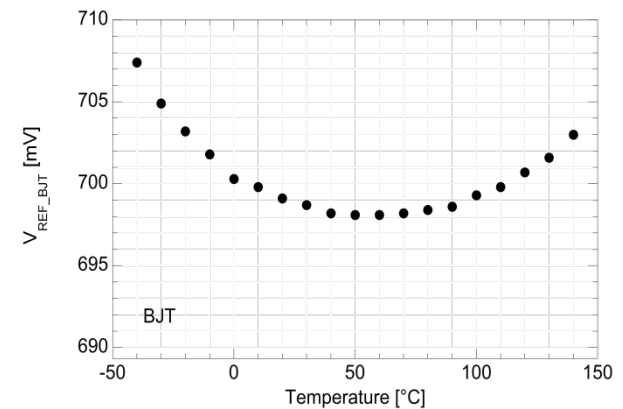
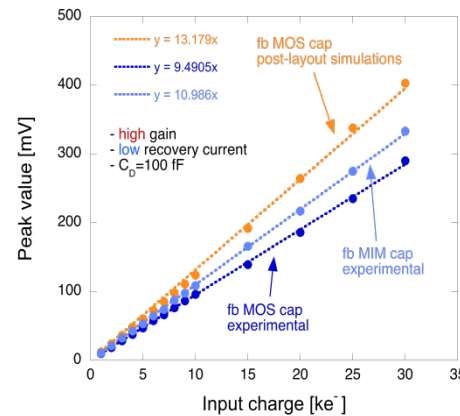
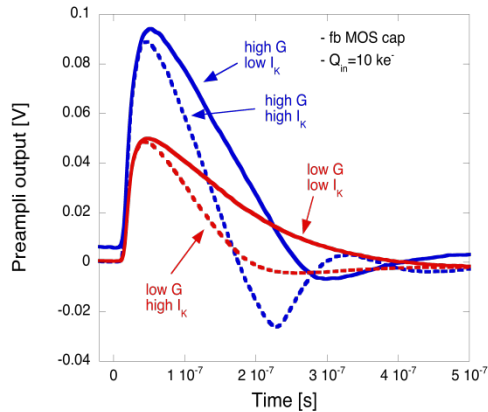
- Design of front-end channels for the readout of hybrid pixels (submitted in 2014). Characterization and irradiation activities are in progress
- Design of rad-hard bandgap voltage reference circuits (submitted in 2014). Test bench characterization done. Irradiation activity in progress. New version of bandgap submitted in May 2015
- Design of SLVS drivers and receivers (submitted in May 2015)

➤ WP4

- A 12mm² mixed-signal front-end chip is foreseen at the end of 2015 (collaboration in chip integration activity)

CHPIX65 prototypes

3 miniasics have been fabricated and are now under characterization



Conference and Workshop Presentations



1. L. Demaria: "The RD53 programme and the CHIPIX65/INFN project for the development of Pixel Readout Chip for EXTREME Rate and Radiation", presented at the **10th Trento Workshop on Advanced Silicon Radiation Detectors**, Feb. 17 - 19, 2015, Trento (Italy)
2. L. Demaria et al., "CHIPIX65: developments on a new generation pixel readout ASIC in CMOS 65 nm for HEP experiments", to be presented at the **6th IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces, IWASI 2015**, Jun. 18-19, 2015, Gallipoli (Italy)



MC INFN A.Rimoldi

Consuntivo 2014

- Utilizzo del tool geant4 per :
 - Ottimizzazione dell'algoritmo per la produzione di DVH (Dose Volume Histogram) comparativi per lo studio del rapporto tra la dose rilasciata sul tumore, rispetto alla dose indesiderata sui tessuti sani
 - Uniformità sul piano trasversale di trattamento, utilizzando uno scan bidimensionale su una griglia quadrata, in analogia con lo scan attivo del fascio CNAO
 - Studio del profilo laterale del fascio di protoni ottenuto introducendo un collimatore di ottone
 - Studio delle particelle secondarie prodotte a causa dell'introduzione degli elementi passivi lungo la linea di fascio del CNAO
 - Studio di possibile impiego di ioni Carbonio per irraggiamento di tumori oculari
- Partecipanti:
 - A.Rimoldi-Professore Associato .1 FTE Responsabile locale
 - C.Riccardi – Prof. Associato .1 FTE
 - A. Tamborini – Borsista IRPT Pavia 1 FTE

MC-INFN Pavia - Fluka: consuntivo 2014-2015

- **Attività' del gruppo:**

- Ottimizzazione parametri TPS per profili laterali con best fit su dati e MC con doppia gaussiana ...done -> **in uso a CNAO**
- Studio dei profili laterali di dose su linea CNAO con protoni con diverse parametrizzazioni ...done -> **paper!**
- Sviluppo di modello analitico basato su teoria di Molière ...in progress
- Integrazione modello in TPS LMU (progetto dottorato V.E. Bellinzona) ...in progress
- Studio modello con fasci e bersagli diversi (progetto dottorato A. Embriaco) ...in progress

- **Persone:**

- A. Fontana (ric. INFN)
- V.E. Bellinzona (dottorato XXIX ciclo)
- A. Embriaco (dottorato XXX ciclo)
- G. Magro (dottorato XXVIII ciclo)
- (M. Mori, specializzanda presso S. Raffaele, Milano)

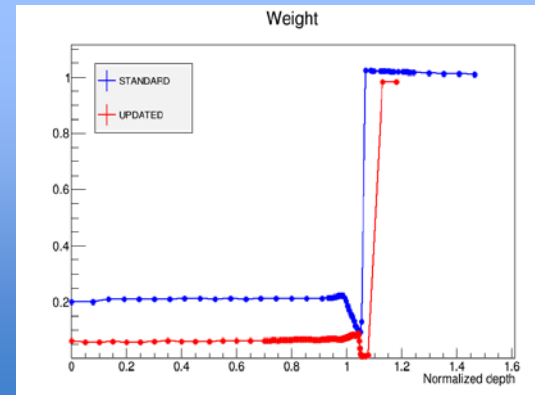
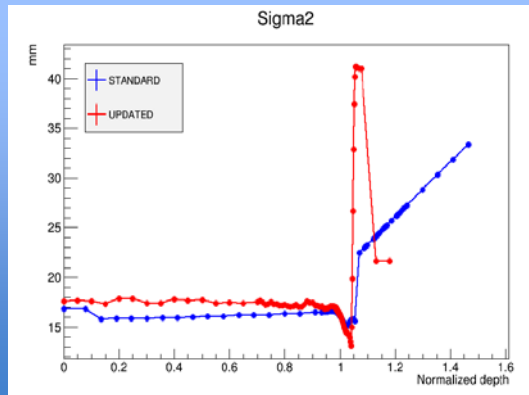
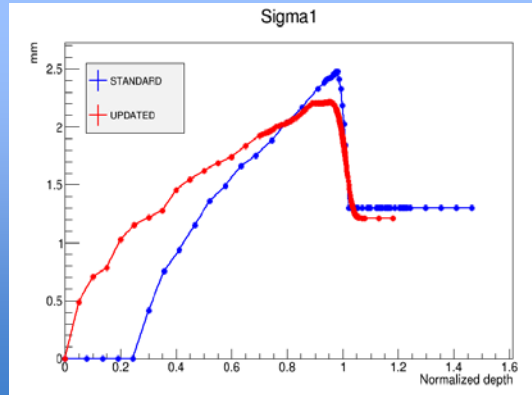
- **Collaborazioni:**

- UniPV (A. Rotondi)
- FLUKA team (A. Ferrari, P. Sala)
- CNAO (M. Ciocca, A. Mairani)
- HIT/LMU Munich (K. Parodi)

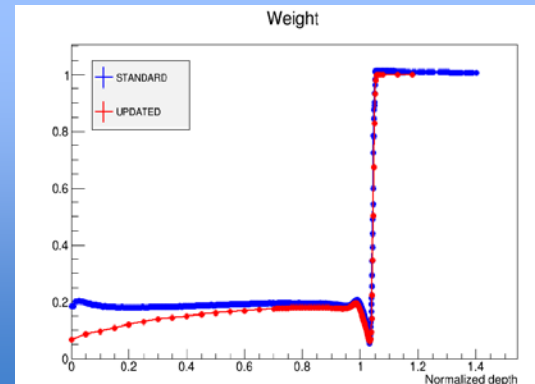
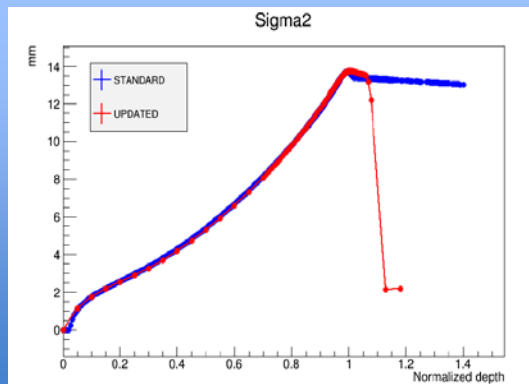
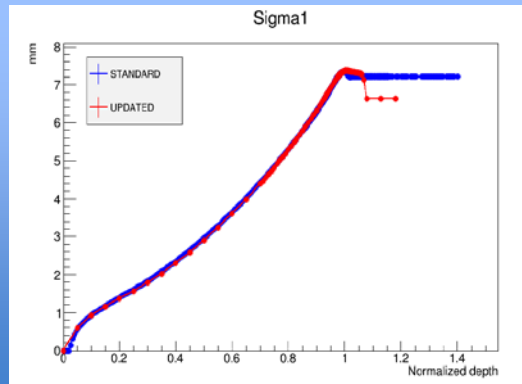
Nessun finanziamento a Pavia nel 2014

Ottimizzazione parametri TPS CNAO (Siemens Syngo RT)

60 MeV



226 MeV



Fit con 4 parametri liberi:

σ_1, σ_2, w, N

- Different constraints on the fitted parameters
- No clinical impact from these differences

$$D(r, z, E) = N \left[\underbrace{(1-w) \frac{1}{2\pi\sigma_1^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_1^2}}}_{\text{"core"}} + \underbrace{w \frac{1}{2\pi\sigma_2^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_2^2}}}_{\text{"tails"}} \right]$$

“core”

“tails”



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Physica Medica

journal homepage: <http://www.physicamedica.com>



Original paper

On the parametrization of lateral dose profiles in proton radiation therapy

V.E. Bellinzona^{a, b, c}, M. Ciocca^d, A. Embriaco^{a, b}, A. Fontana^{a, *}, A. Mairani^d, M. Mori^b, K. Parodi^{c, e}

^a Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Pavia, Pavia, Italy

^b Dipartimento di Fisica, Università di Pavia, Pavia, Italy

^c Department of Medical Physics, Ludwig Maximilians University, Munich, Germany

^d Medical Physics Unit, Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica, Pavia, Italy

^e Heidelberg Ion Beam Therapy Center, University Hospital Heidelberg, Heidelberg, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 March 2015

Received in revised form

30 April 2015

Accepted 7 May 2015

Available online xxx

Keywords:

Proton therapy

Lateral dose distribution

TPS optimization

ABSTRACT

Purpose: The accurate evaluation of the lateral dose profile is an important issue in the field of proton radiation therapy. The beam spread, due to Multiple Coulomb Scattering (MCS), is described by the Molière's theory. To take into account also the contribution of nuclear interactions, modern Treatment Planning Systems (TPSs) generally approximate the dose profiles by a sum of Gaussian functions. In this paper we have compared different parametrizations for the lateral dose profile of protons in water for therapeutical energies: the goal is to improve the performances of the actual treatment planning.

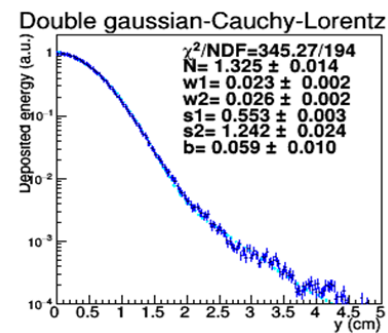
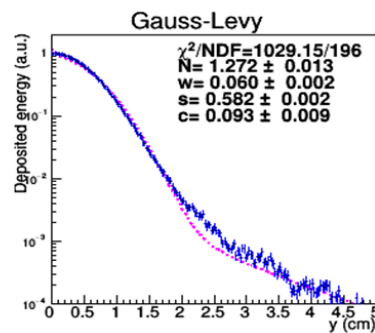
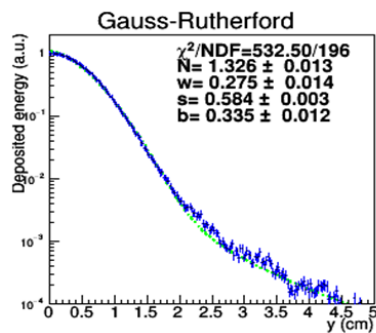
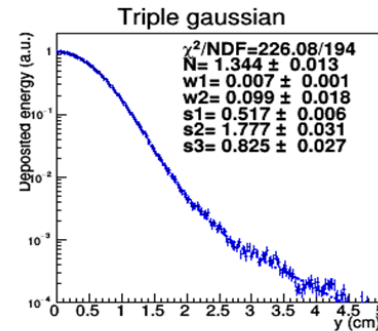
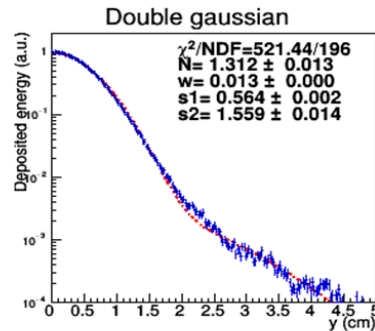
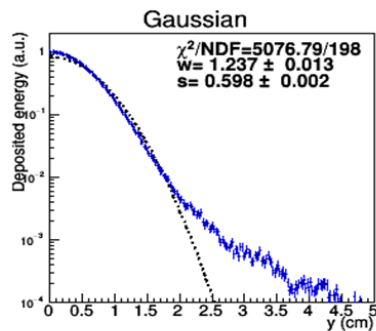
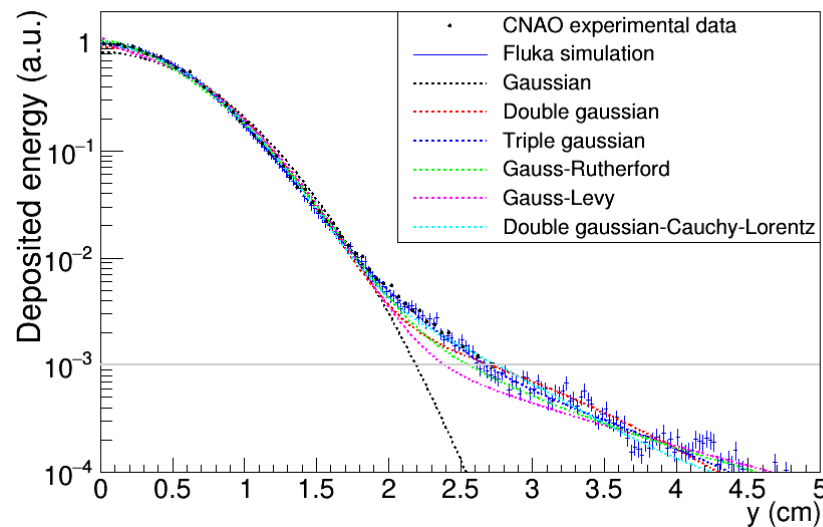
Methods: We have simulated typical dose profiles at the CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica) beamline with the FLUKA code and validated them with data taken at CNAO considering different energies and depths. We then performed best fits of the lateral dose profiles for different functions using ROOT and MINUIT.

Results: The accuracy of the best fits was analyzed by evaluating the reduced χ^2 , the number of free parameters of the functions and the calculation time. The best results were obtained with the triple Gaussian and double Gaussian Lorentz–Cauchy functions which have 6 parameters, but good results were also obtained with the so called Gauss–Rutherford function which has only 4 parameters.

Conclusions: The comparison of the studied functions with accurate and validated Monte Carlo calculations and with experimental data from CNAO lead us to propose an original parametrization, the Gauss–Rutherford function, to describe the lateral dose profiles of proton beams.

© 2015 Associazione Italiana di Fisica Medica. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Studio parametrizzazioni alternative



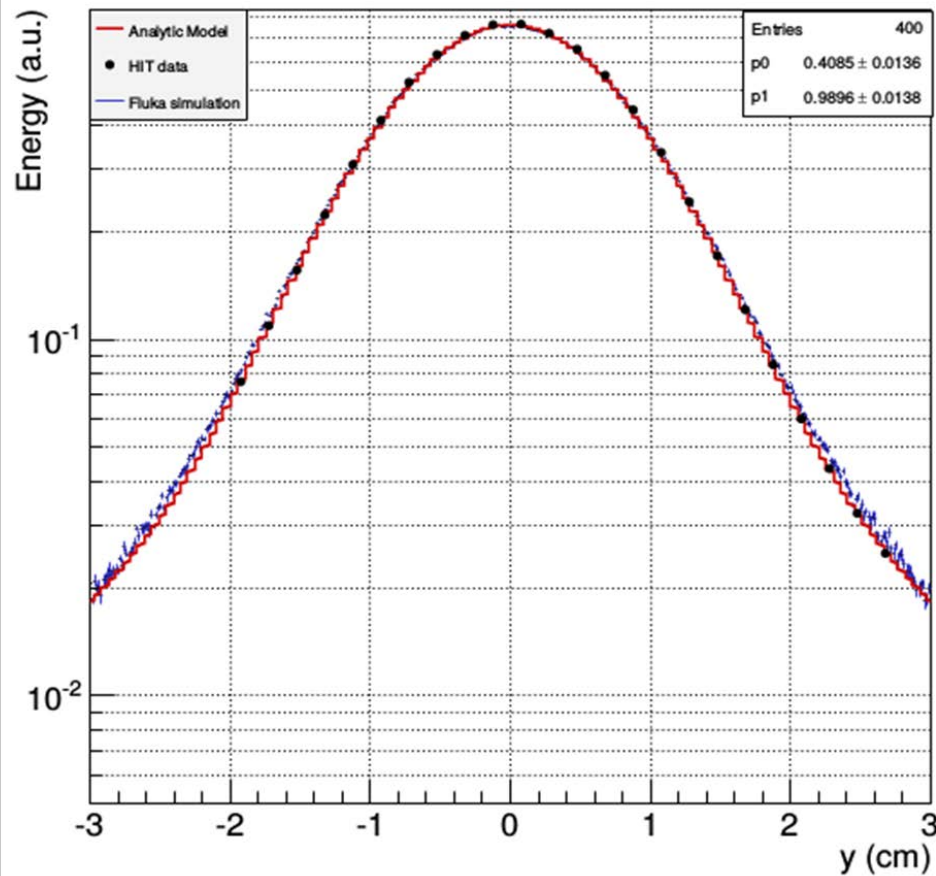
Sviluppo di modello analitico per profili laterali

$$f(x)_{x,y} = W_p f_M(x) + (1 - W_p) \frac{t(x)}{\int_{-\infty}^{+\infty} t(x) dx}$$

$f_M(x)$ = Molière electromagnetic theory

$t(x)$ = parametrization of nuclear tails

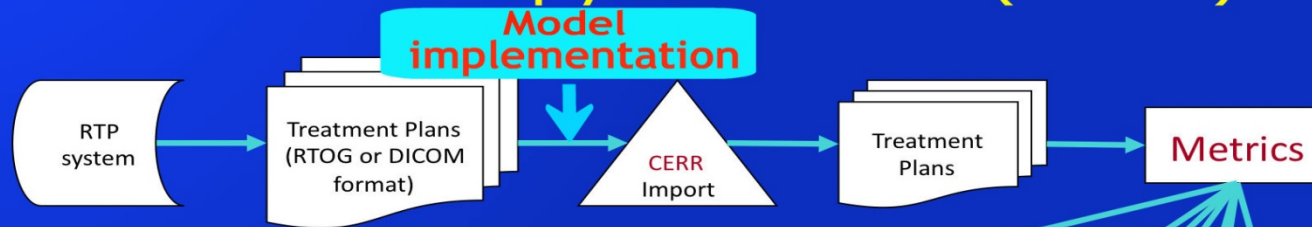
W_n = fraction of events without nuclear interactions



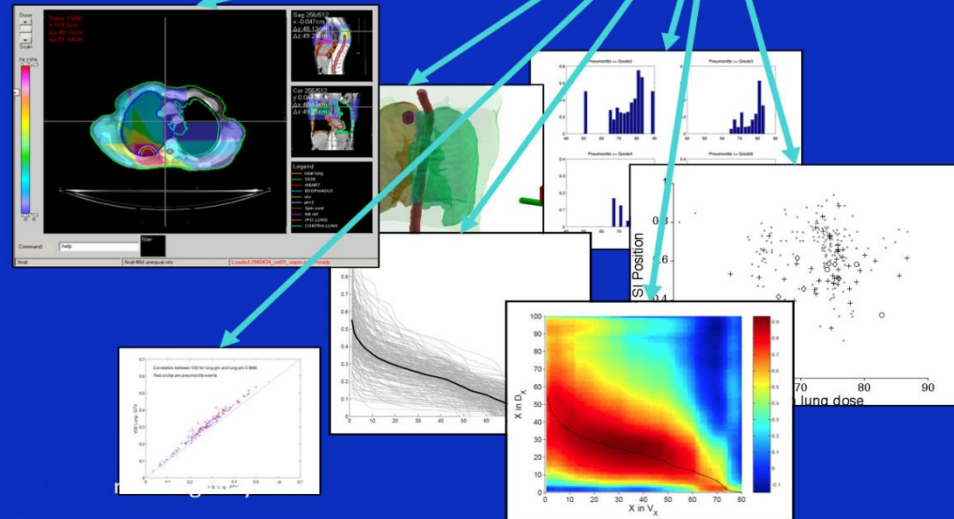
Integrazione con TPS open source

CERR is a widely used open-source system, based on the Matlab platform, that has comprehensive tools for manipulating radiotherapy data. It has extensive import/export, visualization, image registration, IMRT dose calculation, contouring, complication/control estimation tools, etc. (<http://CERR.info>)

The Computational Environment for Radiotherapy Research (CERR)



- Custom software extracts dose, volume, and structure data automatically



(slide courtesy A. Hope)

Partecipazione allo sviluppo di FLUKA

- **Studio di algoritmi per calcolo di volumi**

- Calcolo automatico di volumi pre FLUKA run con metodi MC
- Studio algoritmi Quasi-MC (stratificazione)

In collaborazione con M. Nozar (Triumf)

- **Upgrade sezioni d' urto per interazione ioni leggeri**

- Threshold anomaly
- Problema di Fisica Nucleare di interesse per adroterapia

In collaborazione con A. Ferrari (CERN) e A. Mairani (CNAO/HIT)

Calcolo di volumi con FLUKA

Aim: optimization of the volume calculation for all regions before a FLUKA run.

In general, 2 types of volume estimation algorithms:

- Point-estimator: standard MC integration
- **Track-length estimator**: usa proporzionalita' tra lunghezza di traccia e volume e lunghezza media della corda per stimare il volume.

The total track-length s , scored in each region, is proportional to the volume v of the region.

The average cord length of the spherical source, L , is given by* $L = \frac{4}{3}R$

Volume of the spherical source, V , is given by: $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

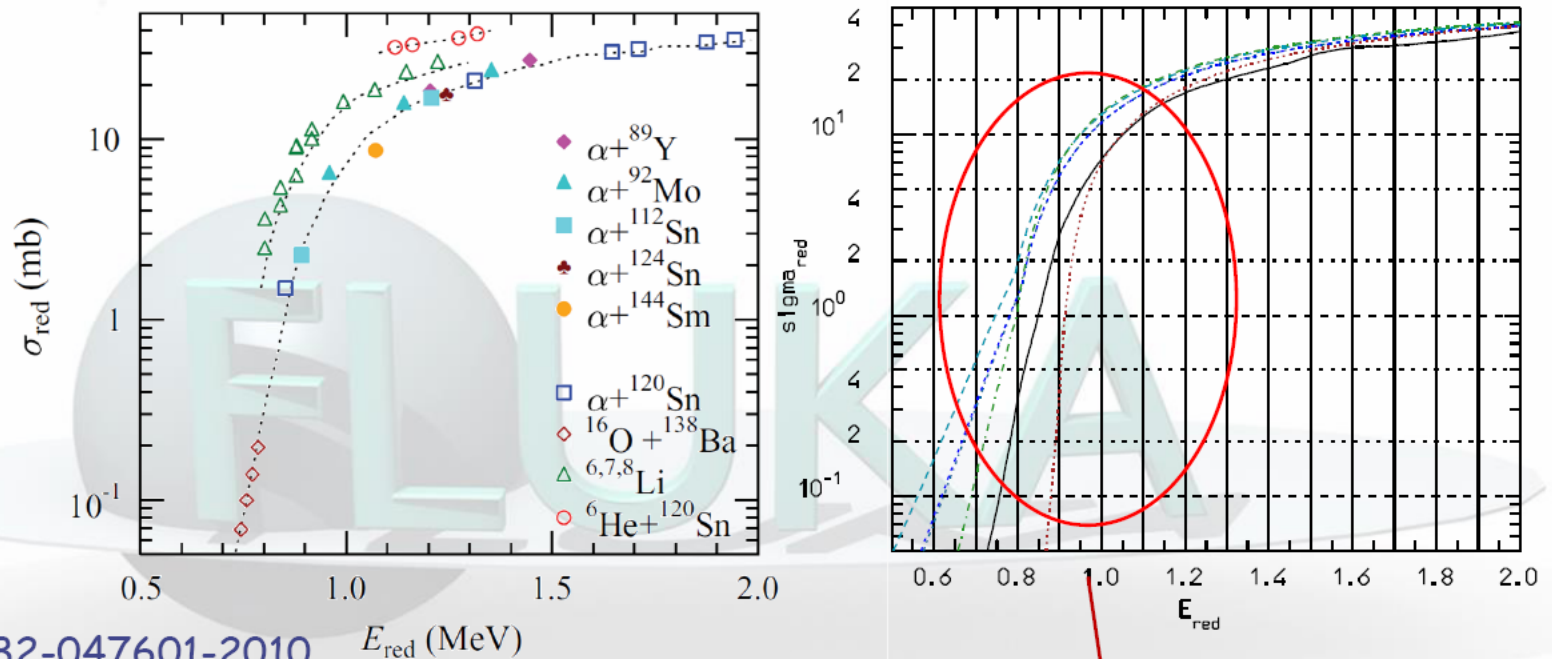
Using the proportionality relation, one can calculate the volume:

$$\begin{aligned}\frac{v}{V} &= \frac{s}{L} \text{ or } v = V \times \left(\frac{s}{L}\right) \\ v &= \frac{4}{3}\pi R^3 \times \left(s \times \frac{3}{4R}\right) \\ v &= (\pi R^2) \times s\end{aligned}$$

*Work by Albrecht M. Kellerer, [Fundamentals of Microdosimetry](#): "The average chord length L is, for all convex bodies, equal to four times the volume V divided by the surface area S : $L = 4V/S$."

Problema della threshold anomaly

Too low Coulomb barriers for α s and other light ion reactions on medium-heavy nuclei $\rightarrow$ overestimated cross sections below 15-25 MeV



PRC82-047601-2010 E_{red} (MeV)

FIG. 2. (Color online) Reduced reaction cross sections σ_{red} versus reduced energy E_{red} for tightly bound α particles and ${}^{16}\text{O}$, weakly bound ${}^{6,7,8}\text{Li}$ projectiles, and exotic ${}^6\text{He}$. (Update of Fig. 4 from Ref. [3] with additional data from Ref. [13].) The error bars of the new data (solid data points) are omitted because they are smaller than the point size. The lines are to guide the eye.

Too low barrier on α 's (blue lines), too large for ${}^{16}\text{O}$ (reddish) and ${}^7\text{Li}$ (green)



- **Workshops/Conferenze:**

- 3rd Advanced Fluka Workshop, LNF 2014 (1 comunicazione)
- 14th Int. Conf. on Nuclear Reaction Mechanisms, Varenna 2015 (1 invited talk, 2 comunicazioni)

- **Meetings:**

- FLUKA collaboration meeting, Pavia, Dicembre 2014

- **Scuole:**

- I Corso Nazionale di Adroterapia (AIFM), Trento, Maggio 2015: seminario su invito di A. Fontana
- CERN Accelerator School 2015, Vienna, Maggio 2015: partecipazione a case study di V.E. Bellinzona

Relazione consuntiva MERIDIAN-MIRA

MERIDIAN-MIRA

- Bologna
- Pavia
- Trieste
- Verona
- Napoli



MERIDIAN

26 ricercatori

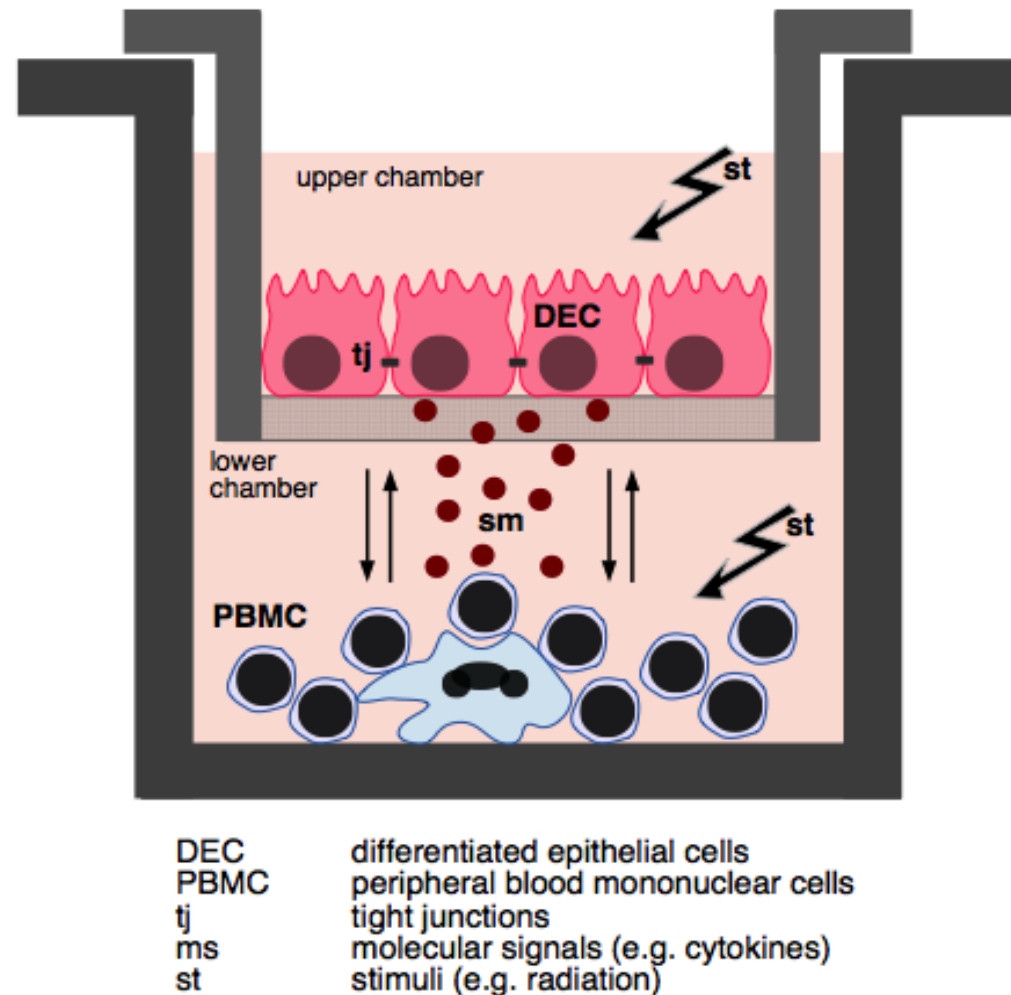
14 FTE

32 keuro assegnati per il 2014

5k euro assegnati a Pavia

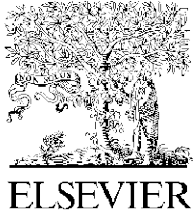
MERIDIAN

- **Sistema sperimentale:** pozzetto transwell con cellule Caco-2 (carcinoma del colon) per riprodurre un epitelio intestinale instabile, capace di dedifferenziarsi con/senza macrofagi
- Studi della permeabilità dell'epitelio *in vitro* anche in presenza di morte cellulare indotta da radiazione
- Studi dei segnali intercellulari scambiati tra cellule Caco-2 e macrofagi in seguito all'irraggiamento
- Studi di citochine infiammatorie espresse in seguito all'irraggiamento
- Studi di espressione genica
- Studi computazionali per modellizzare le risposte osservate
- Studi di risposta adattativa indotta da RadioFrequenze (MIRA)



Infiammazione e tumori

(la radiazione induce infiammazione; gli stati infiammatori hanno un ruolo sia nella risposta dell'organismo ai tumori, così come nell'insorgenza dei tumori)



Seminars in
**RADIATION
ONCOLOGY**

Radiation and Inflammation

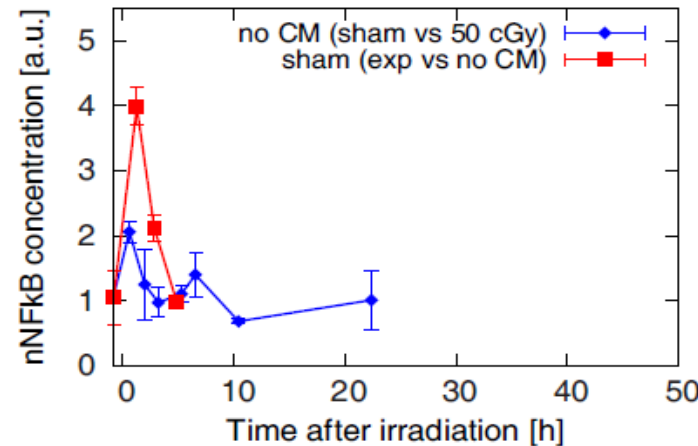
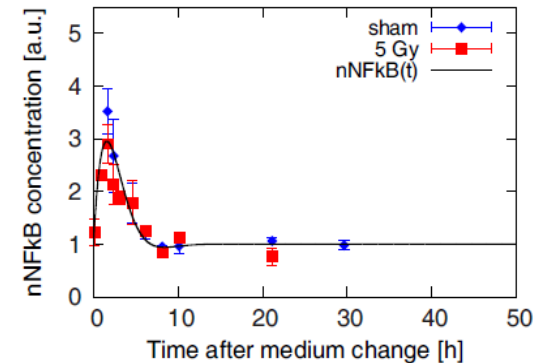
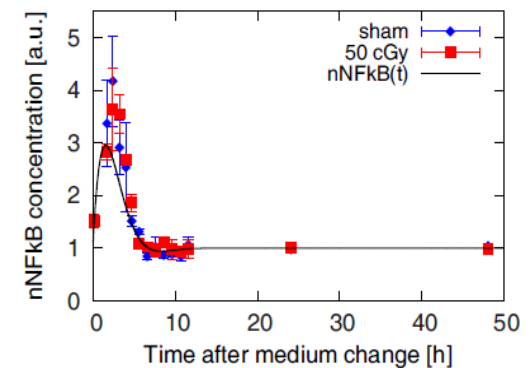
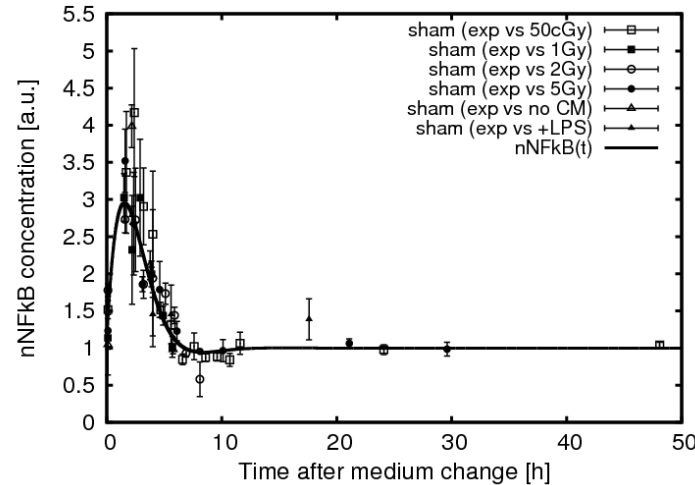
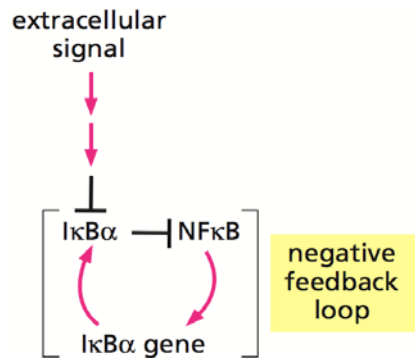
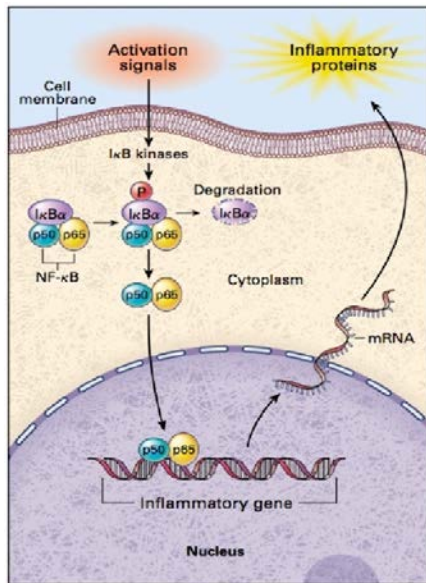


Dörthe Schae, PhD,^{*} Ewa D. Micewicz, PhD,^{*} Josephine A. Ratikan, PhD,^{*}
Michael W. Xie, PhD,^{*} Genhong Cheng, PhD,[†] and William H. McBride, PhD, DSc^{*}

The immune system has the power to modulate the expression of radiation-induced normal and tumor tissue damage. On the one hand, it can contribute to cancer cure, and on the other hand, it can influence acute and late radiation side effects, which in many ways resemble acute and chronic inflammatory disease states. The way radiation-induced inflammation feeds into adaptive antigen-specific immune responses adds another dimension to the tumor-host cross talk during radiation therapy and to possible radiation-driven autoimmune responses. Understanding how radiation affects inflammation and immunity is therefore critical if we are to effectively manipulate these forces for benefit in radiation oncology treatments.

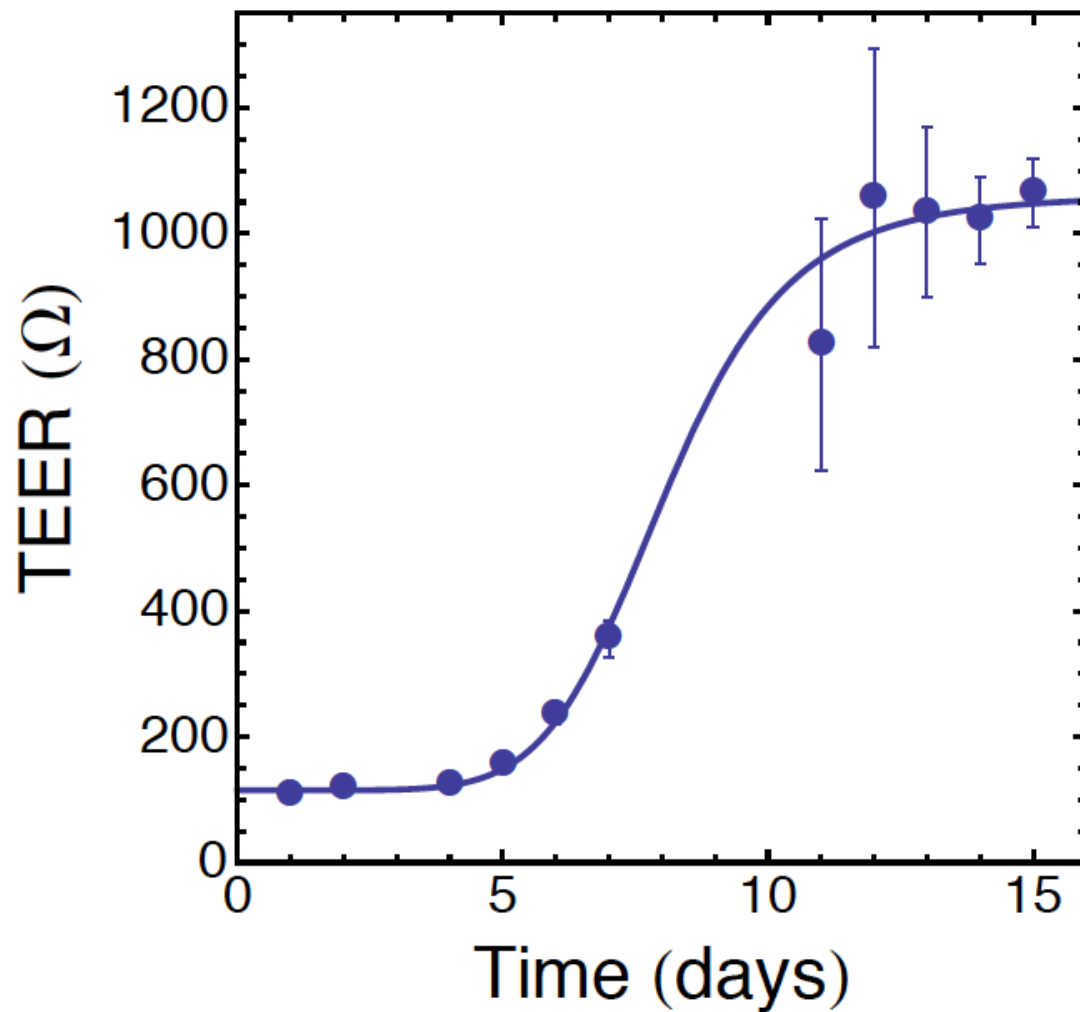
Semin Radiat Oncol 25:4-10 © 2015 Elsevier Inc. All rights reserved.

Inflammatory pathway (NF- κ B temporal dynamics)

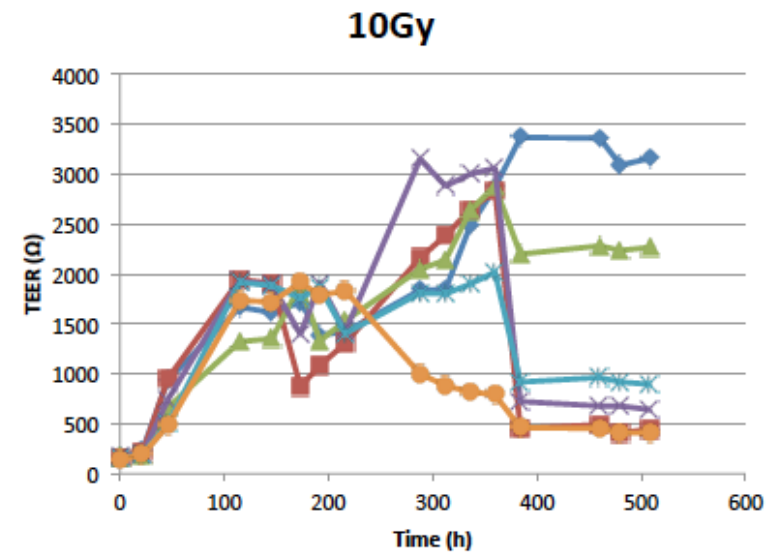
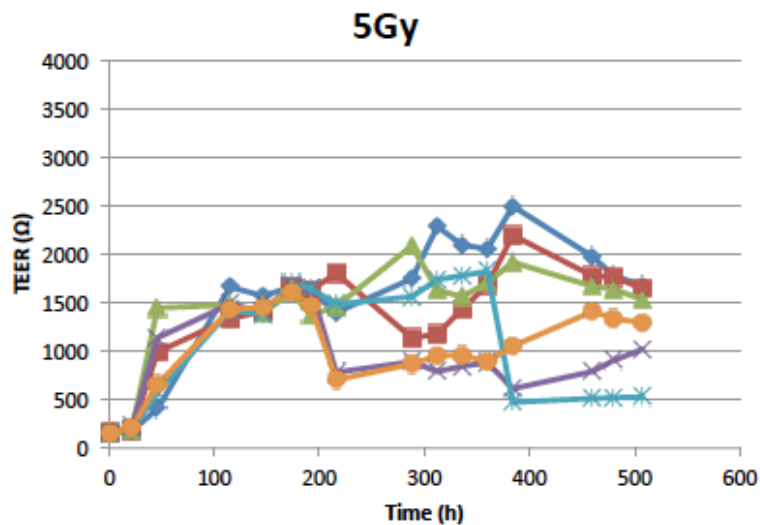
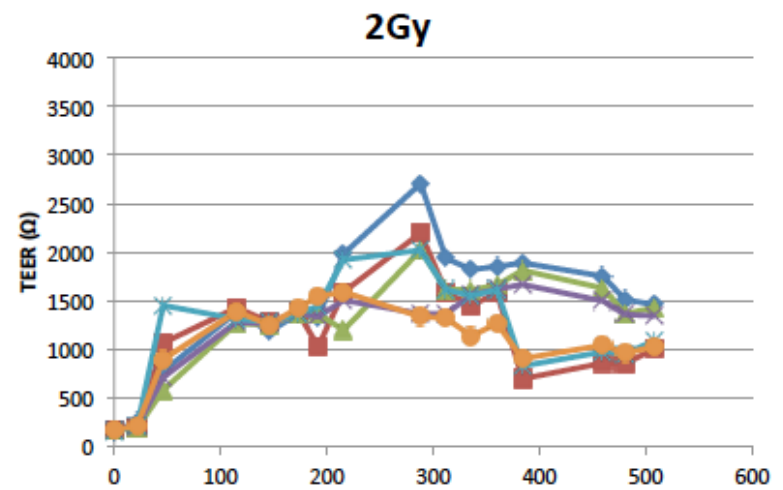
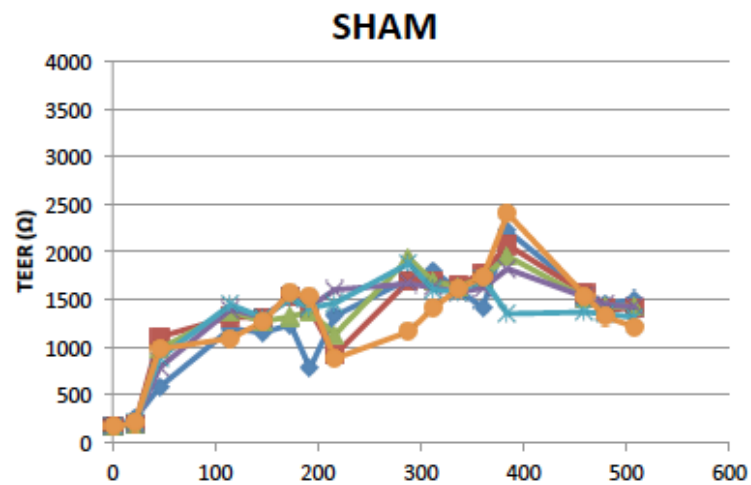


The choice of the in vitro model and culturing conditions might introduce differences and/or confounding factors

G. Babini, J. Morini, G. Baiocco, L. Mariotti, A. Ottolenghi, "In vitro γ -ray-induced inflammatory response is dominated by culturing conditions rather than radiation exposures", *Scientific Reports*, 5, 9343 (2015)
<http://www.nature.com/srep/2015/150320/srep09343/pdf/srep09343.pdf>



Tipica curva di resistenza trans-epiteliale (TEER) in funzione del tempo misurata da noi nel sistema di cellule Caco-2. La resistenza cresce fino a saturare e rimane successivamente costante nel tempo per almeno una decina di giorni, indicando la formazione e il consolidamento dello strato epiteliale, tempo utile per effettuare esperimenti di radiobiologia.



Resistenza trans-epiteliale (TEER) vs. tempo misurata nel sistema di cellule Caco-2 in seguito all'irraggiamento con raggi X. Questi dati preliminari indicano una elevata variabilità della TEER in seguito all'irraggiamento.

Analisi delle citochine



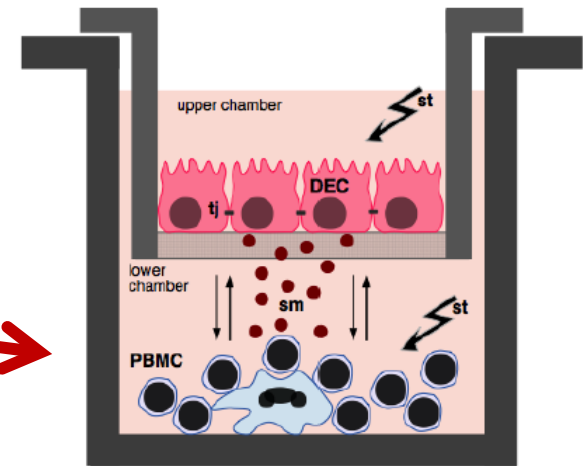
C-Series



Detection	Chemiluminescent
Solid Support	Membrane
Design principle	Sandwich ELISA
Results	Semi-quantitative

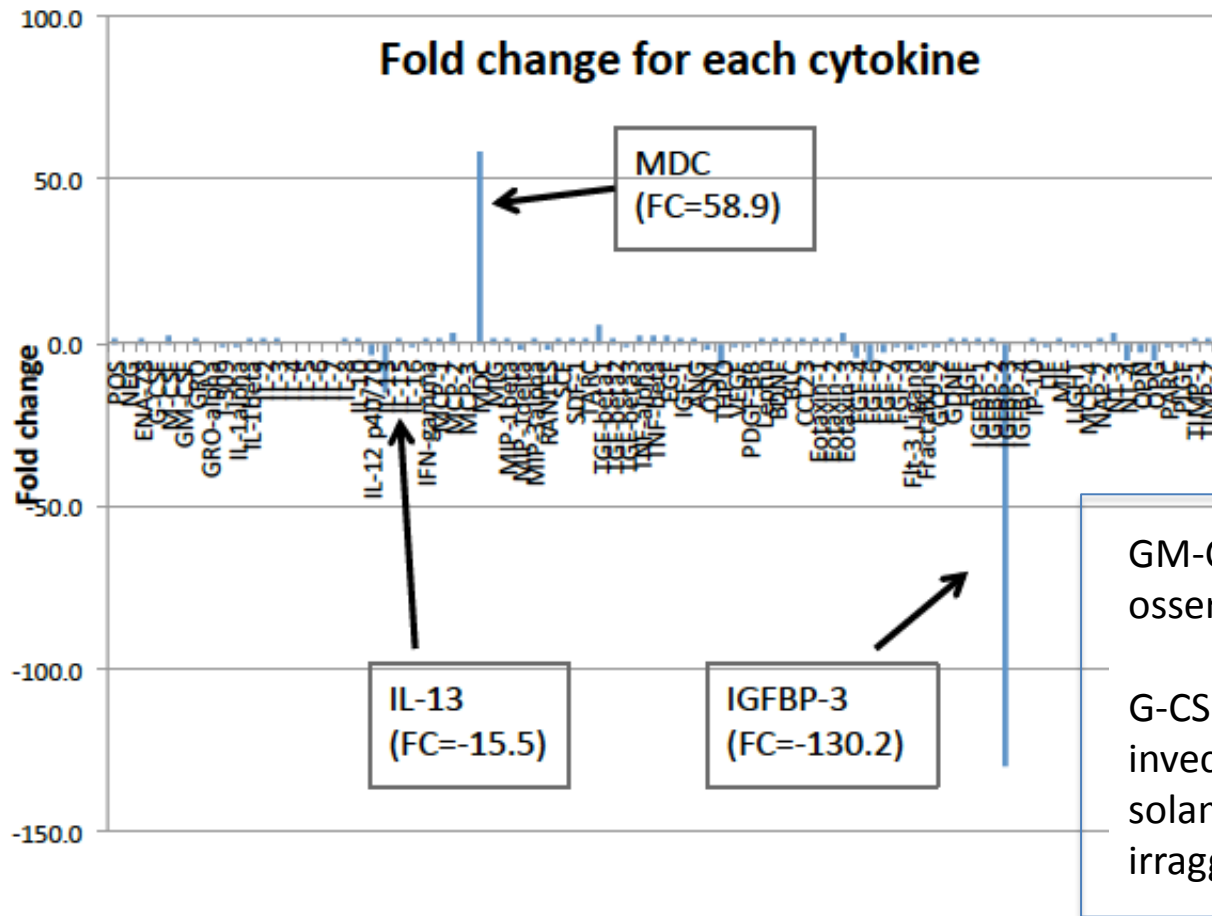
80 different cytokines can be detected on the same membrane

Medium collected at 48h.



DEC
PBMC
tj
sm
st

differentiated epithelial cells
peripheral blood mononuclear cells
tight junctions
molecular signals (e.g. cytokines)
stimuli (e.g. radiation)

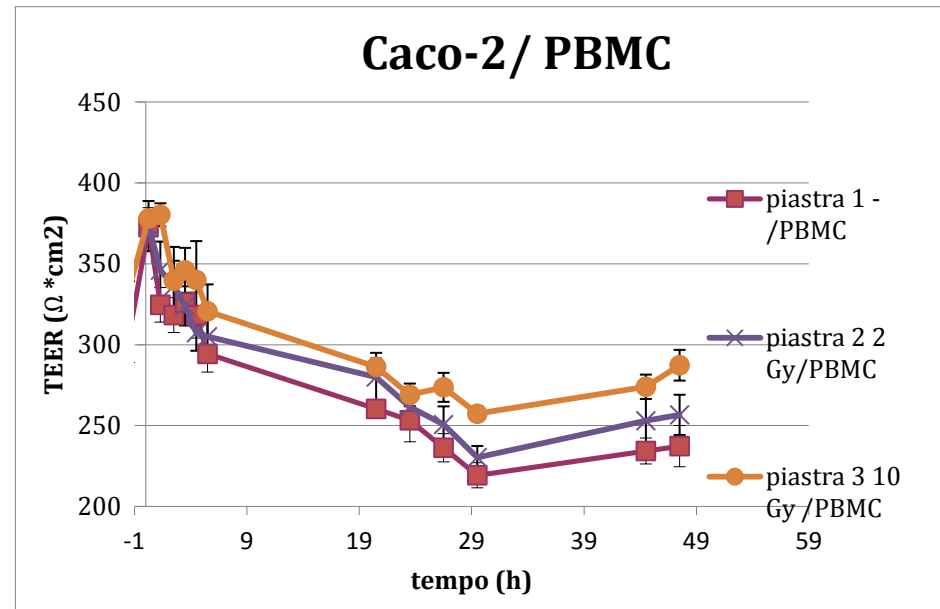
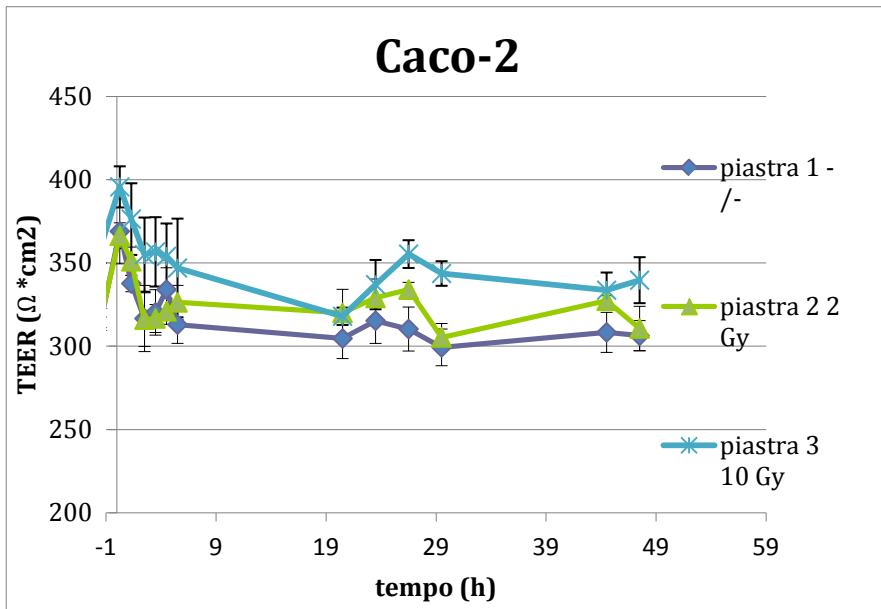


Spettro di risposta delle citochine dopo un irraggiamento di cellule Caco-2 con 10 Gy, sull'asse verticale c'è la variazione relativa tra l'espressione delle citochine in cellule irraggiate e quelle di controllo. Si nota un chiaro segnale di risposta infiammatoria: alcuni dei segnali più forti sono dovuti a citochine che hanno un legame noto con il richiamo di macrofagi e con la risposta infiammatoria.

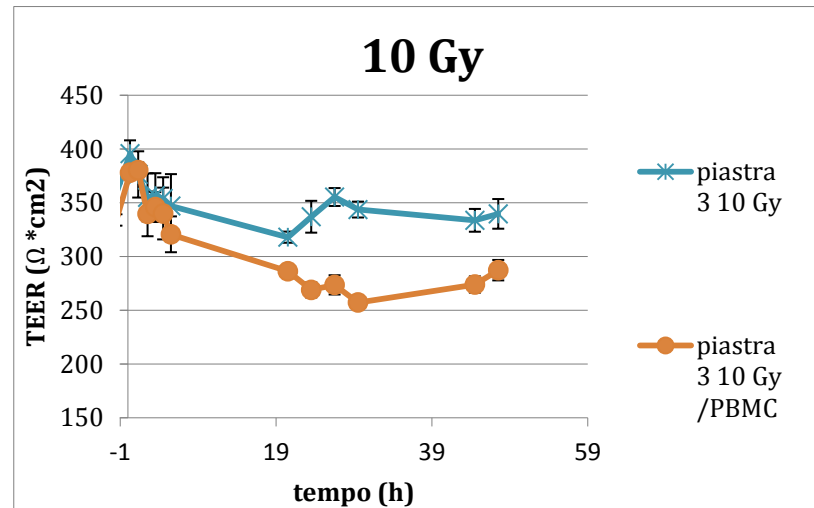
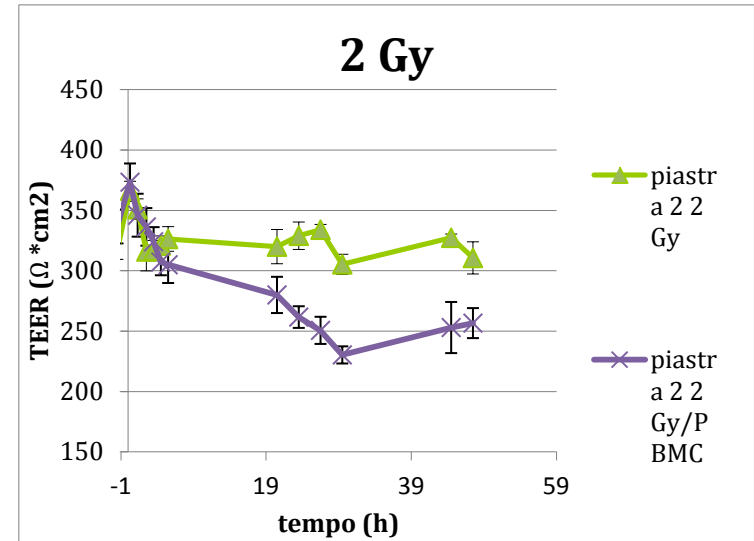
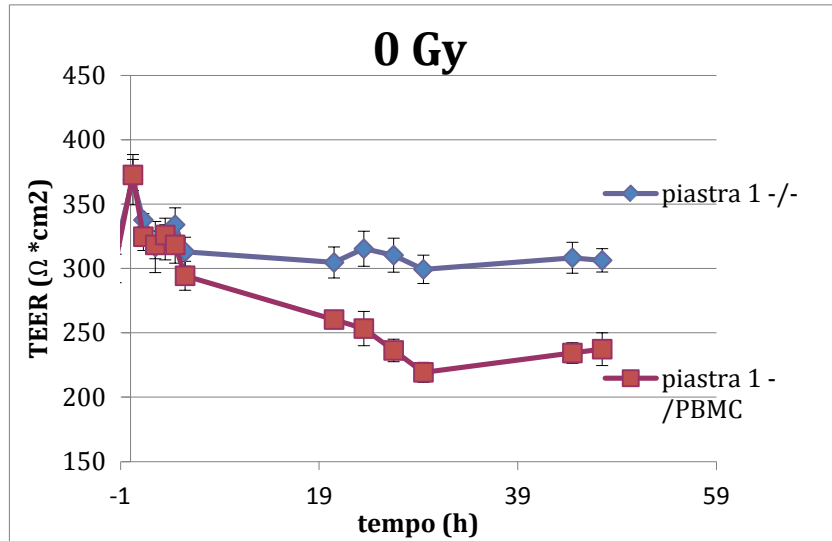
Misure effettuate in combinazione con cellule del sistema immunitario:

- 5×10^5 CaCo-2 seminate 7 giorni prima dell'esperimento in piastre da 6 pozzetti
- isolamento di cellule PBMC (Peripheral Blood Mononuclear Cells – cellule del sangue che costituiscono una parte essenziale del sistema immunitario, tra cui vi sono anche i macrofagi) isolate da donatori sani il giorno dell'esperimento, quindi lasciate in incubatore per 1 ora prima dell'inizio della co-coltura ($10^6/\text{ml}$).
- irraggiamento con i raggi X da Clinac VARIAN (acceleratore lineare da 6 MV che produce raggi X per uso radioterapico)

Misure di TEER nel sistema di Caco-2 e Caco-2/PBMC



Misure di TEER nel sistema di Caco-2 e Caco-2/PBMC (ctd.)



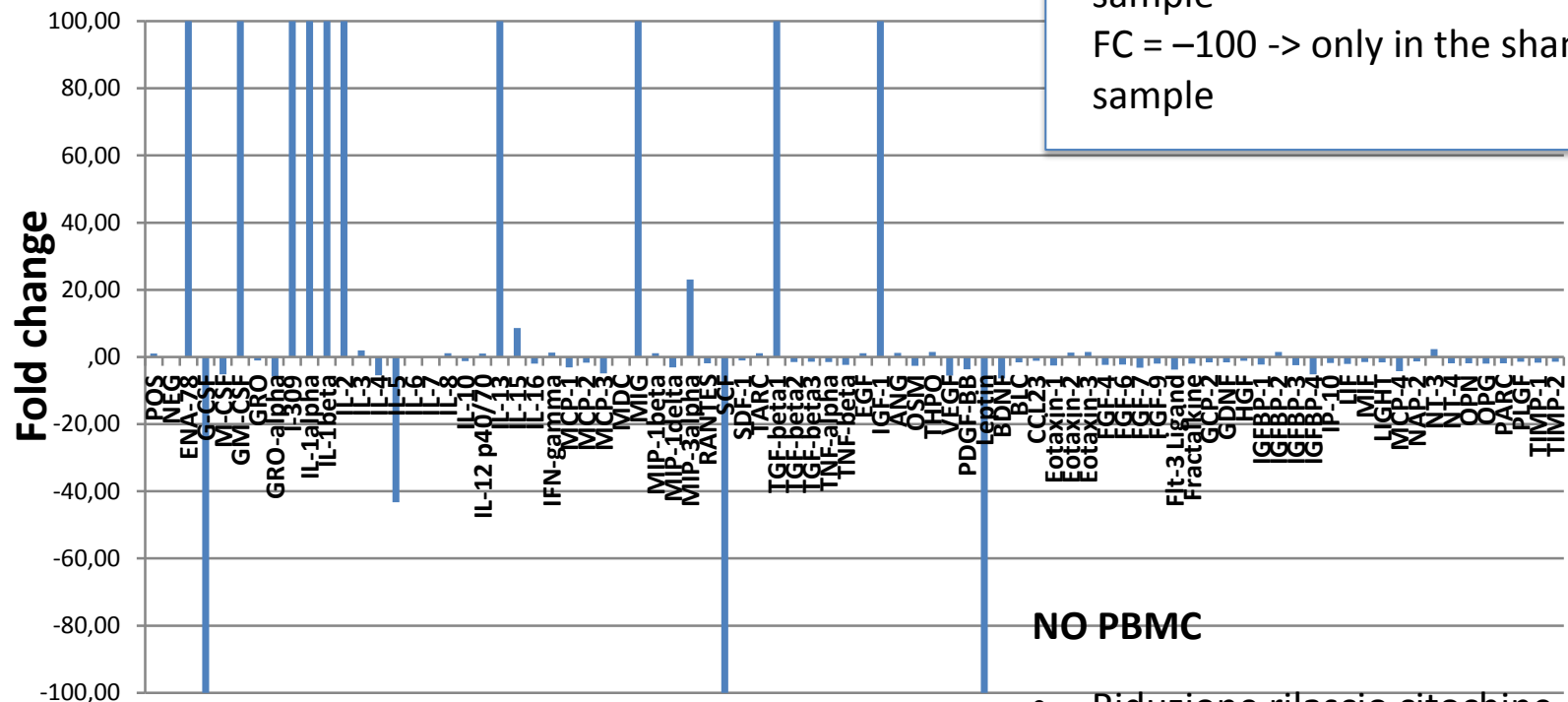
Spettro delle citochine – solo Caco2

$$FC_i = \frac{\text{Protein}_{i-10\text{Gy}}}{\text{Protein}_{i-\text{sham}}}$$

FC = 100 -> only in the irradiated sample

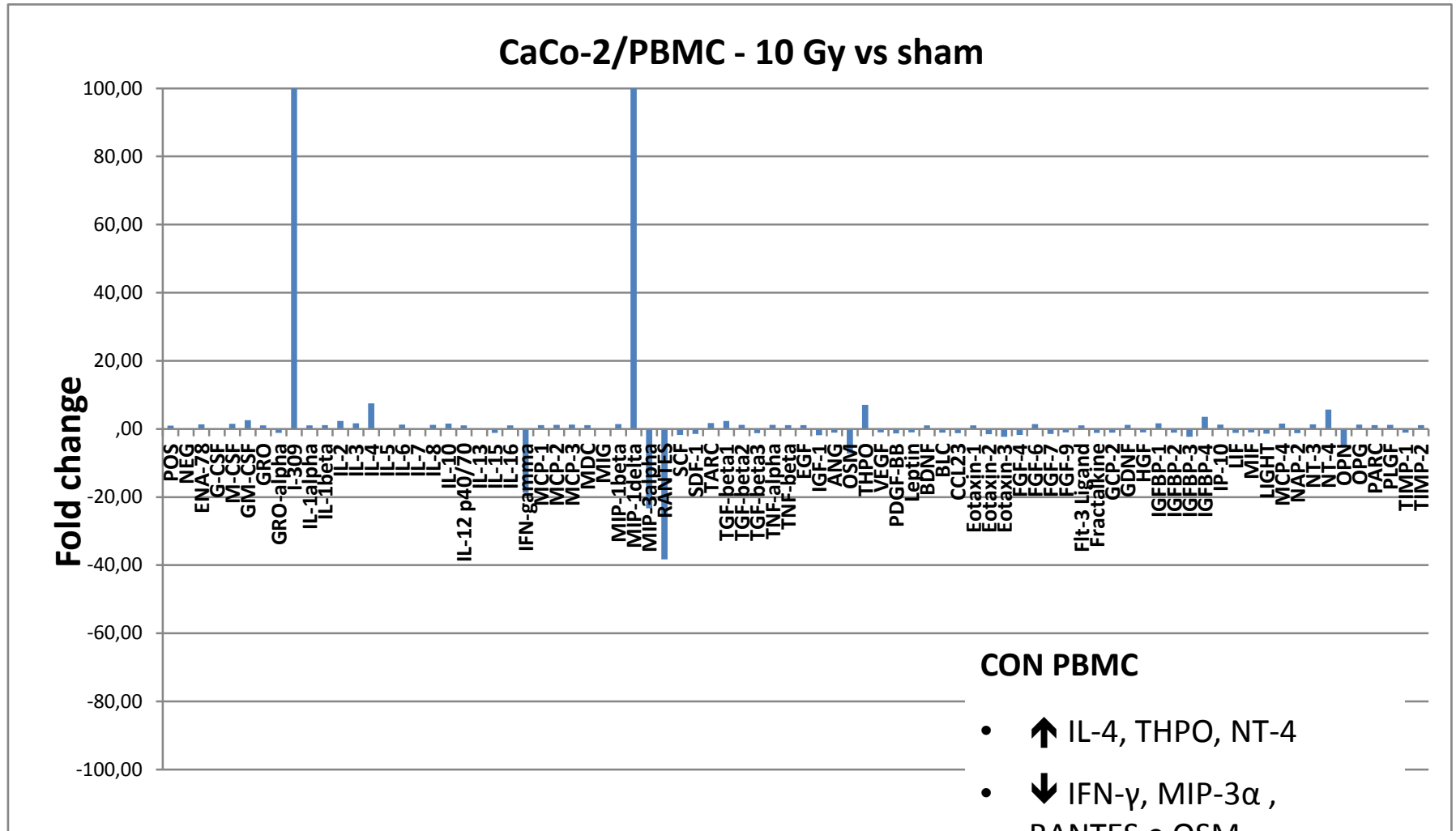
FC = -100 -> only in the sham sample

CaCo-2 - 10 Gy vs sham



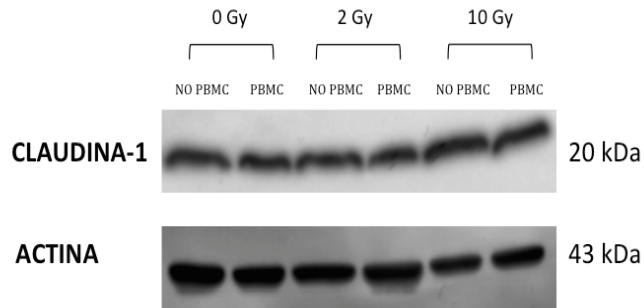
- Riduzione rilascio citochine
- ↓ IL-5 maggiormente
- ↑ IL-15, MIP-3α

Spettro delle citochine – Caco2/PBMC

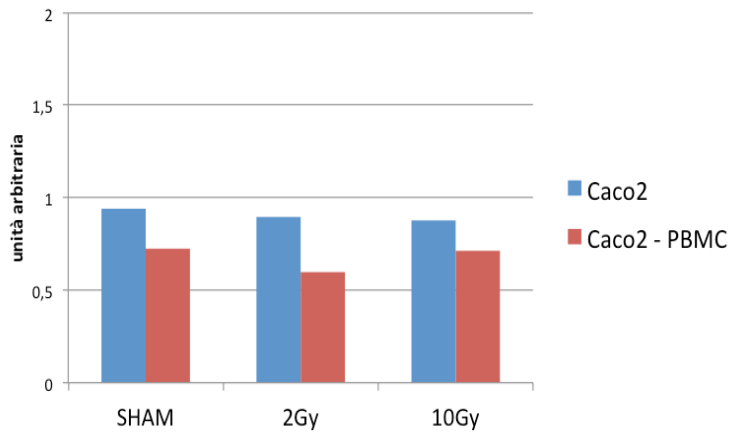


Livelli proteici di claudina-1

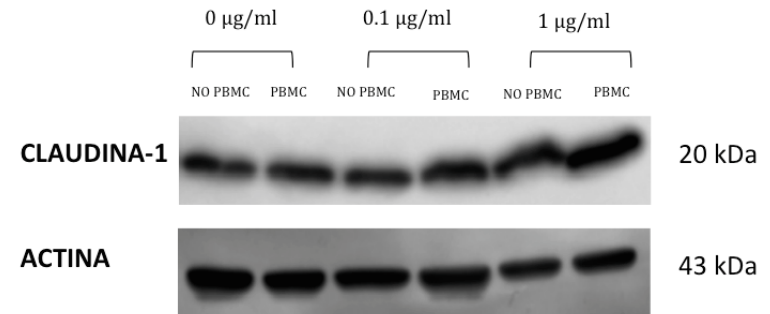
48 ore dall' esposizione ai raggi X



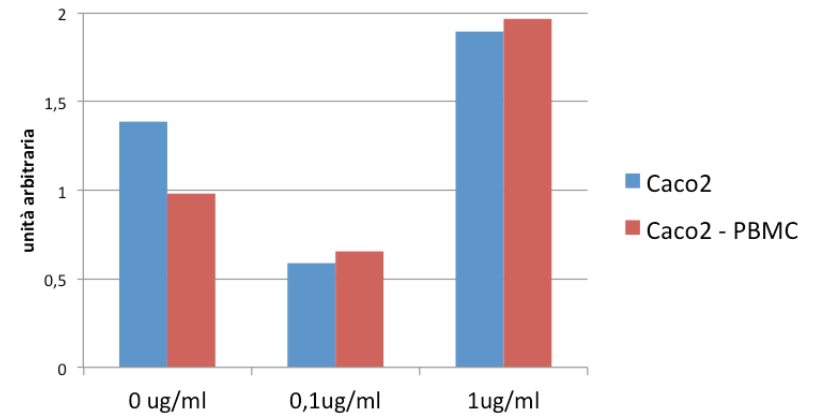
claudina-1



48 ore dal trattamento con LPS



claudina-1



Conclusioni

- il lavoro svolto nell'ambito dell'esperimento è stato promettente e ci proponiamo di pubblicare i risultati ottenuti
- come spesso accade si sono aperte anche prospettive diverse e promettenti in direzioni non previste inizialmente
- speriamo che in futuro ci sia la possibilità di continuare questo lavoro in ambito INFN

Thesis & publications (2014-15)



Papers

- D. Alloni, C. Cutaia, L. Mariotti, W. Friedland, A. Ottolenghi. Modelling dose deposition and DNA damage due to low energy β^- emitters. *Radiation Research*, 182, 322–330 (2014)
- M. Ugolini, A. Ottolenghi, G. Babini, G. Baiocco, L. Mariotti and J. Morini Perturbation of cellular signaling cascades modulated by ionizing radiation and environmental stress *IL NUOVO CIMENTO* Vol. 37 C, N. 4 (2014).
- G Babini, J Morini, G Baiocco, L Mariotti, A Ottolenghi *In vitro γ -ray-induced inflammatory response is dominated by culturing conditions rather than radiation exposures*. *Scientific Reports* 5, Art. no.: 9343 doi:10.1038/srep09343, pp 1-7 (2015).
- <http://www.nature.com/srep/2015/150320/srep09343/pdf/srep09343.pdf>
- L. Mariotti, A. Ottolenghi, P. O'Neill, M. Hill *Stimulation of intercellular induction of apoptosis in transformed cells at very low doses: spatial and temporal features* *Radiation Protection* Apr 16. pii: ncv176. [Epub ahead of print] (2015).
- G. Babini, V. Bellinzona, J. Morini, L. Mariotti, K. Unger, A. Ottolenghi *Mechanisms of the induction of apoptosis mediated by radiation-induced cytokine release* *Radiation Protection Dosimetry* Apr 5. pii: ncv133. [Epub ahead of print] (2015).
- G. Babini, M. Ugolini, J. Morini, G. Baiocco, L. Mariotti, P. Tabarelli de Fatis, M. Liotta, A. Ottolenghi *Investigation of radiation-induced multilayered signalling response of the inflammatory pathway*. *Radiation Protection Dosimetry* Apr 15. pii: ncv132. [Epub ahead of print] (2015).

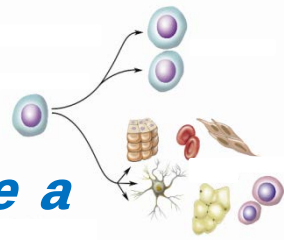
Thesis

- A. Solari, “Effetti delle radiazioni ionizzanti su co-culture di cellule intestinali CaCo-2 e linfociti umani come modello *in vitro* di barriera intestinale”, Tesi di laurea magistrale in Biologia Sperimentale ed Applicata, Anno Accademico 2013-2014

Relazione Consuntiva RADIOSTEM



RADIOSTEM



Meccanismi di risposta **RADIObiologica a fotoni e a particelle cariche di cellule **STaM**inali tumorali e derivanti da tessuto sano**

Responsabile Nazionale: M.A. Tabocchini
(Istituto Superiore di Sanità, INFN-Roma1, Gruppo coll. Sanità)

(2012 – 2014)

Sezioni partecipanti:

- ❑ **Roma 1, Gruppo coll. Sanità** (Responsabile locale: M.A. Tabocchini)
- ❑ **Pavia** (Responsabile locale: A. Ottolenghi)

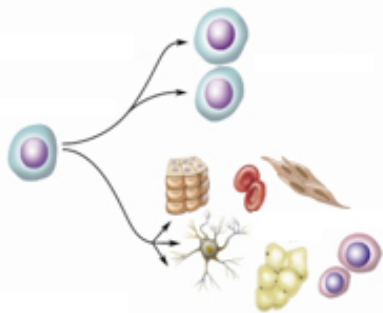
Finanziamento Pavia 2014: 7.5k euro

Aim of RADIOSTEM experiment: to investigate the metabolism and the radiobiological response of **cancer stem cells isolated from glioblastoma patients (GSCs) as well as of **human neural stem cells** to **photons, protons** and **C-ions** using an integrated experimental and theoretical approach**

INFN experiment RADIOSITEM (ISS, Rome and Pavia) Radiobiological response mechanisms to photons and charged particles, of stem cells derived from tumours and healthy tissues

D Alloni, G Baiocco, G Babini, W Friedland, P Kunderát, L Mariotti, A Ottolenghi. Energy dependence of the complexity of DNA damage induced by carbon ions. Radiat Prot Dosimetry, 2015

cancer stem cells isolated from glioblastoma patients (GSCs) and human neural stem cells



Glioblastoma multiforme (GBM):

- most common and malignant primary brain tumor
- very poor prognosis.
- high recurrence rate and failure of conventional treatments
 - presence of radio-resistant cancer stem cells (CSCs) inside the tumor mass.

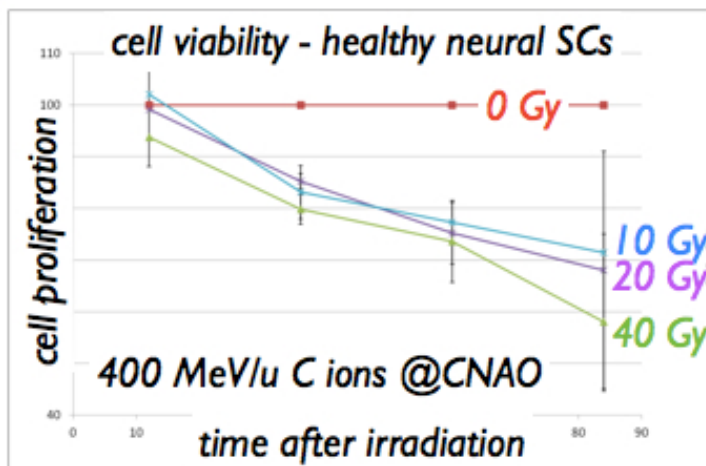
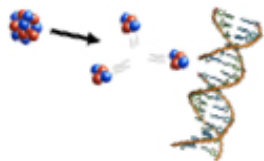


- + investigation of the response of normal human neural stem cells
 - signalling pathways/molecules involved in the cross-talk between cancer and normal stem cells.

IRRADIATION Facilities

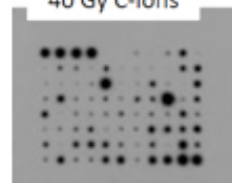
protons - LNS - INFN
C-ions - **CNAO**

DNA-damage modelling

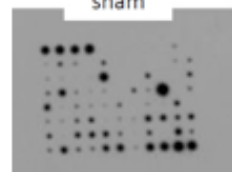


Cytokine Signalling

40 Gy C-ions



sham



Biological responses of neural stem cells (NHNP) after irradiation

Radiosensitivity (MTT Assay)

MTT assay was performed on NHNP cells after either low or high LET irradiation exposures. Results show a reduced proliferation rate in cells irradiated with C-ions, with an increasing effect of radiation up to 120 hours after the exposure. Furthermore, a slight dose dependence could be observed for doses from 10 Gy and up to 40 Gy. Surprisingly, when irradiated with low LET, NHNP do not show the same dose dependence as observed with the high LET exposure while the proliferation rate do not vary significantly among the different time points.

These results on the radiosensitivity will be confirmed with the experiments planned to be carried out in 2015.

Signaling Spectra (Cytokine Panel)

In order to explore the whole radiation-perturbed signaling protein spectrum, the culture media of 40 Gy irradiated and control NHNP were collected 60 hours after the irradiation and analyzed using the Human Cytokine Array (Raybiotech) which allows to see the expression levels of 80 signaling proteins.

It is possible to divide the results in the following four groups:

1. Over-expressed cytokines in irradiated samples are GRO, IL-4, IL-8, IL-10, IL-15, IFN- γ , MCP-2, MDC, MIP-3 α , TARC TGF- β 1, IGF-1, ANG, Leptin, BLC, CCL23, Eotaxin-3 and Flt-3 Ligand; in this group the highest modified cytokines are MIP-3 α , GRO, Eotaxin-3, MCP-2 and TGF- β 1 (with fold changes of 10.4, 10.7, 14.8, 27.1 and 101.3, respectively).
2. The only cytokines over-expressed in the sham, with very small fold changes, are I-309 and IL-12 p40/70.
3. ENA-78, G-CSF, GM-CSF, GRO- α , IL-5, IL-6, IL-7, MCP-3 and MIG are expressed only in irradiated samples.
4. No proteins were expressed only in the sham cells.
It must be clarified that only those cytokines with a fold change (i.e. the ratio between the irradiated and sham expression level of each cytokine) higher than 2 (absolute value) were considered differently regulated.

Simulazione Monte Carlo del danno al DNA indotto da ioni C (e protoni) a differenti energie

Primi anni di RADIOSTEM:

- * studio sistematico dell'induzione di danno al DNA da carboni primari nel *range* di energia **100 keV/u** - 400 MeV/u e in funzione del LET;
- * valutazione dell'effetto biologico (danno al DNA) della variazione della qualità della radiazione primaria a seguito di reazioni nucleari (e.g. frammentazione del C primario in tre alpha);

A conclusione, ultimo anno:

- * valutazione dell'induzione del danno da parte di carboni (e protoni) a fine *range* - ***full slowing down particles***

→ per poter effettuare calcoli di danno a seguito di *full stopping*:
implementazione di nuove sezioni d'urto
nella nuova versione di PARTRAC

E. Schmitt, W. Friedland, M. Dingfelder, A. Ottolenghi Cross-section scaling for track structure simulations of low-energy ions in liquid water. Radiation Protection Dosimetry May 11. pii: ncv302. [Epub ahead of print] (2015).

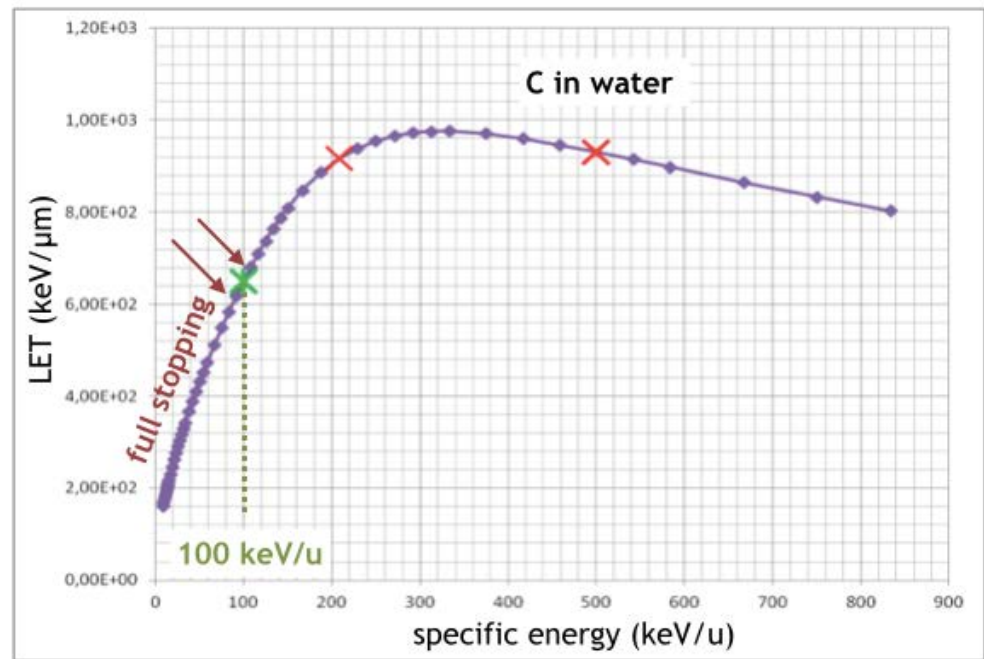
carboni “lenti”

alla fine del *range*

$LET < 650 \text{ keV}/\mu\text{m}$

$E < 100 \text{ keV/u}$

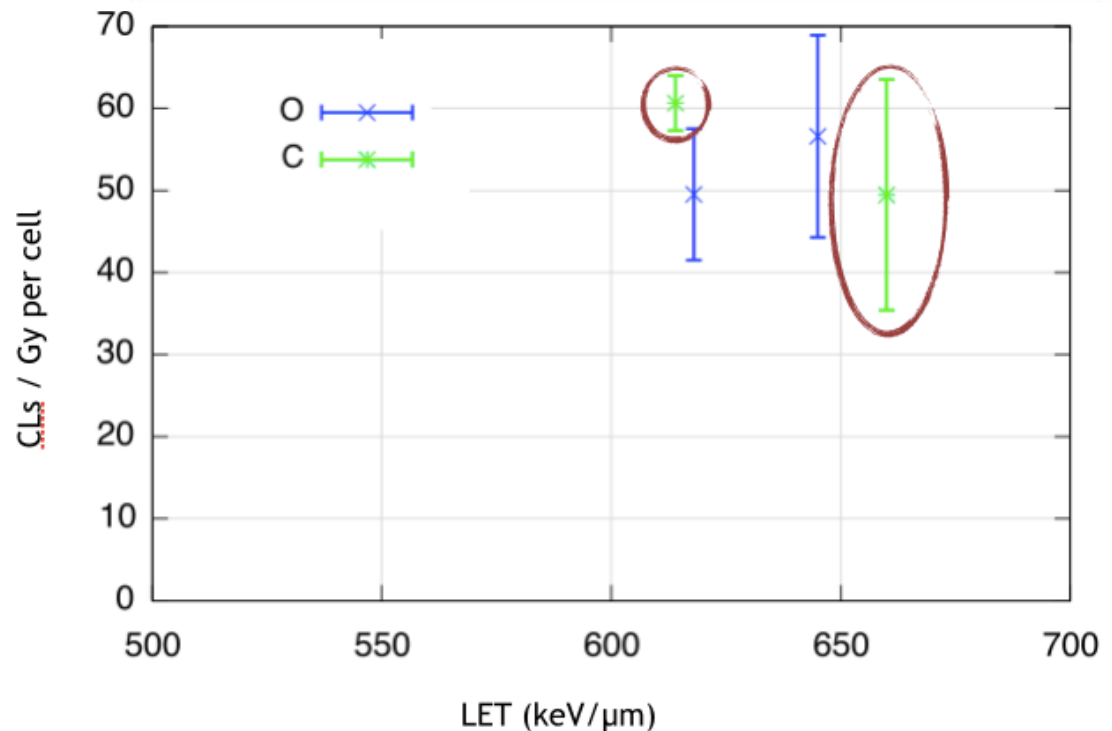
(zona alla sinistra del picco di Bragg nella rappresentazione LET vs. energia)



DNA damage

Complex Lesions

(ioni C e altri ioni
per test del codice)



Thesis & publications (2014-15)

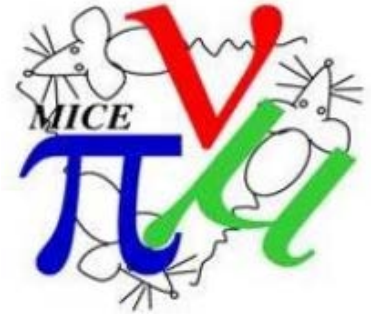


Papers

- D. Alloni, L. Mariotti and A. Ottolenghi. Early Events Leading to Radiation-Induced Biological Effects. In: Brahme A. (Editor in Chief.) Comprehensive Biomedical Physics, vol. 7, pp. 1-22. Amsterdam: Elsevier (2014). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444536327008017>
- E. Schmitt, W. Friedland, M. Dingfelder, A. Ottolenghi *Cross-section scaling for track structure simulations of low-energy ions in liquid water*. Radiation Protection Dosimetry May 11. pii: ncv302. [Epub ahead of print] (2015).
- D. Alloni, G. Baiocco, G. Babini, W. Friedland, P. Kundrat, L. Mariotti, A. Ottolenghi, *Energy dependence of the complexity of DNA damage induced by carbon ions*. Radiation Protection Dosimetry 2015 May 9. pii: ncv292. [Epub ahead of print] (2015).
- G. Baiocco, D. Alloni, G. Babini, L. Mariotti, A. Ottolenghi *Reaction mechanism interplay in determining the biological effectiveness of neutrons as a function of energy* Radiation Protection Dosimetry Apr 5. pii: ncv134. [Epub ahead of print] (2015).
- J. Morini, G. Babini, M. Ferrari, C. Maccario, L. Mariotti, A. Minelli, M. Savio, A. Guertler, U. Kulka, U. Roessler, A. Ottolenghi, C. Danesino *Radiosensitivity in lymphoblastoid cell lines derived from shwachman-diamond syndrome patients*. Radiation Protection Dosimetry Apr 12. pii: ncv152. [Epub ahead of print] (2015).

Thesis

- J. Morini, "Analysis of X-rays-induced cellular modifications: the model of Shwachman-Diamond syndrome", PhD thesis, University of Pavia, Academic year 2011-2014



CONSUNTIVO MICE

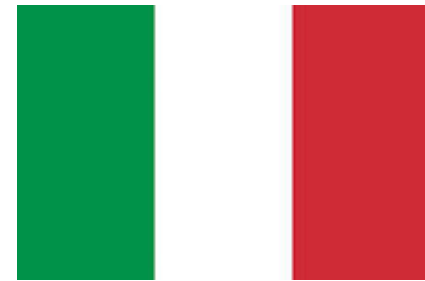
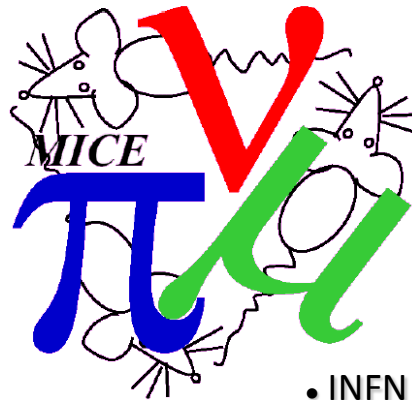
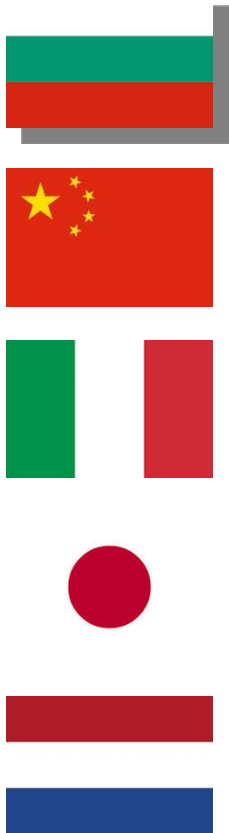
INFN - Sezione di Pavia

The MICE collaboration

Collaborazione internazionale

~ 140 collaboratori

Lista completa: <http://www.mice.iit.edu/collaboration.html>



Sono 10 i collaboratori italiani:

- INFN Milano
- INFN Napoli
- INFN Pavia e Università di Pavia
A. de Bari

Fondamentale aiuto del servizio di elettronica

M. Prata, R. Nardo e M. Rossella

Collaborazione con Milano per responsabilità rivelatori
TOF

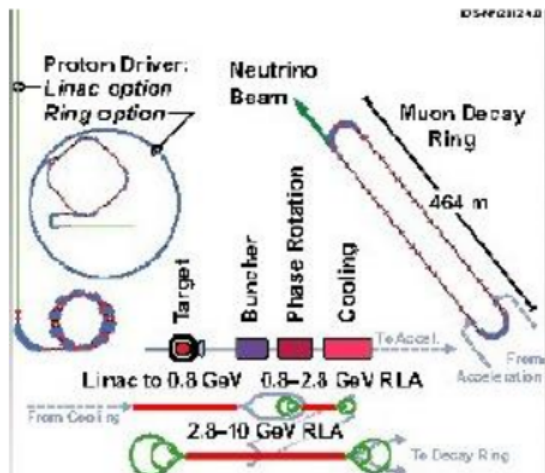
- INFN Roma III e Università Roma III
- INFN Trieste e Università di Trieste

Finanziamento Pavia 2014: 6k euro

Motivazioni

Lo scopo di MICE e':

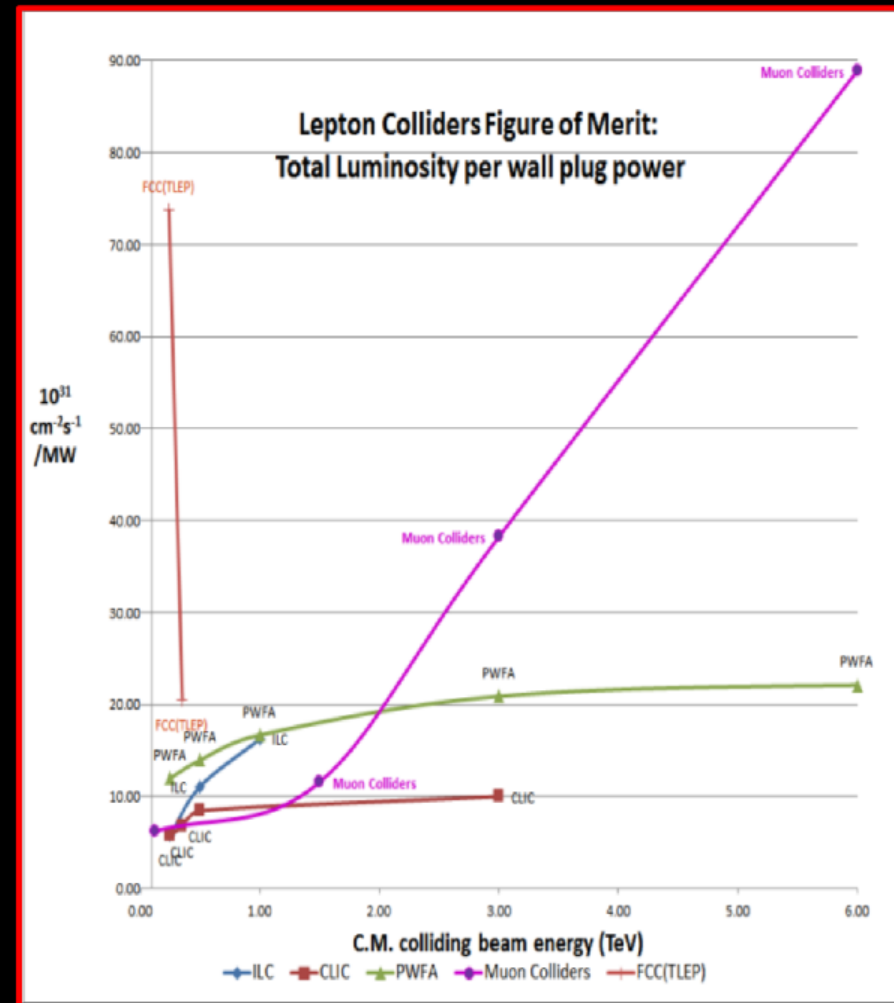
- Progettare, costruire e far funzionare una sezione realistica di un muon cooling channel
- Misurare le sue prestazioni per diversi settings di emittanza e momento del fascio



I risultati servono per ottimizzare la costruzione di una
Neutrino Factory o un Muon Collider

Muon Collider:

- Optimised Higgs Factory:
 - Muon mass; Higgs production rate 10^4 times larger than e^+e^-
- Optimum route to multi-TeV lepton-anti-lepton collisions:
 - Muon mass; 200 times that of the electron mitigates:
 - Synchrotron radiation;
 - Beamsstrahlung
 - Muon rigidity allows efficient acceleration
 - Results in cost-efficient acceleration to very high energy
- Luminosity critical:
 - Muon-beam cooling essential

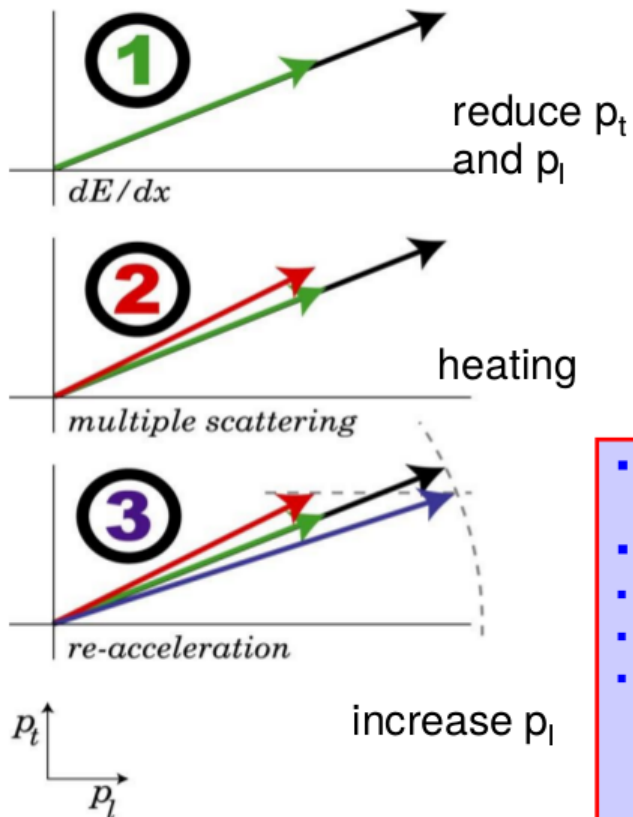


Muon ionization cooling

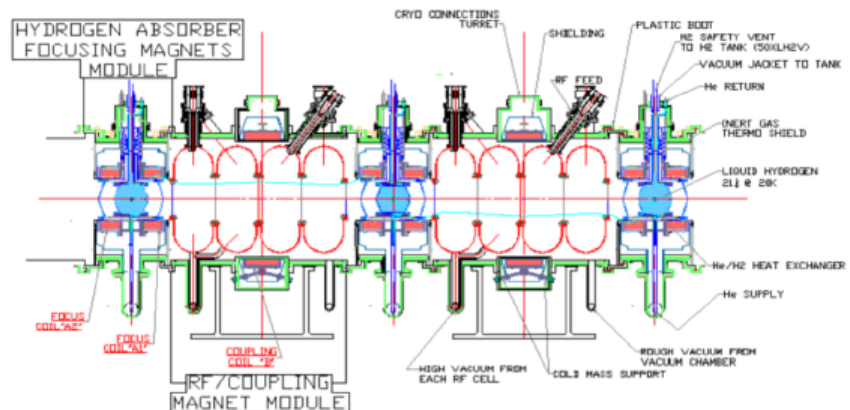
Stochastic cooling is too slow.

A novel method for μ^+ and μ^- is needed: **ionization cooling**

principle



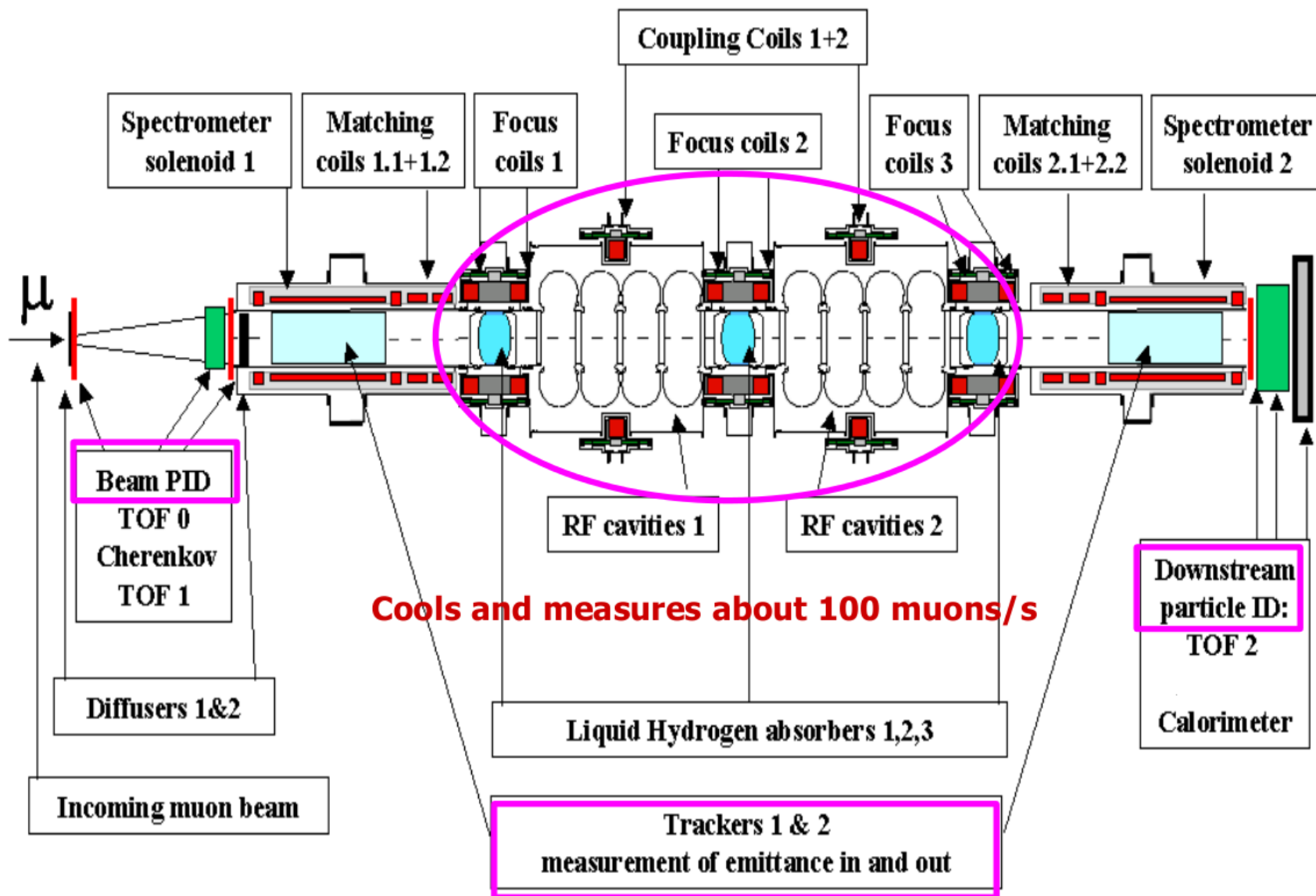
reality (simplified)



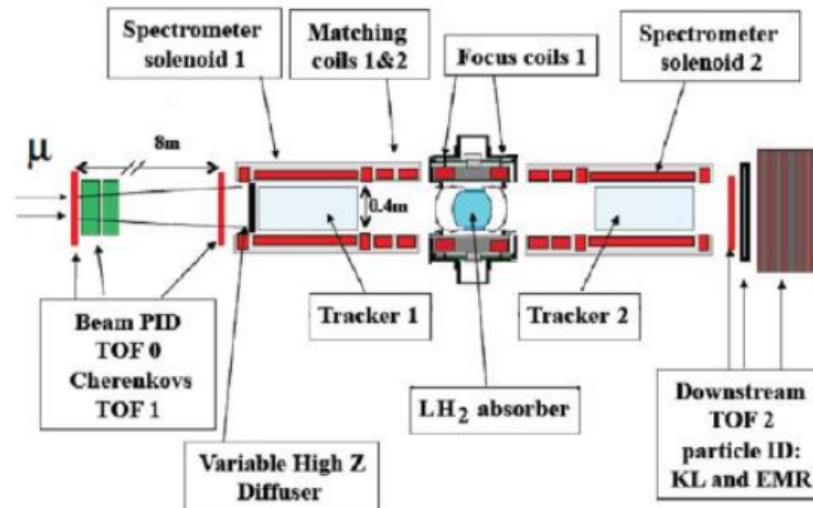
- Build a section of cooling channel long enough to provide measurable cooling (10%) and short enough to be affordable and flexible
- Wish to measure this change to 1%
- Requires measurement of emittance of beams into and out of cooling channel to 0.1% !
- Cannot be done with conventional beam monitoring device
- Instead perform a single particle experiment:
 - High precision measurement of each track ($x, y, z, p_x, p_y, p_z, t, E$)
 - Build up a virtual bunch offline
 - Analyse effect of cooling channel on many different bunches
 - Study cooling channels parameters over a range of initial beam momenta and emittances



MICE setup: cooling + diagnostics



Lo STEP IV: prima fase di MICE 2020



- Tutto l'hardware e' installato nella MICE Hall
- Run finale: da primavera 2015, dopo il cambio del moderatore di ISIS

	Step IV	Step $\frac{3\pi}{2}$
Study of properties that determine cooling performance		
Material properties of LH_2 and LiH	Yes	LH_2 and/or LiH
Observation of $\epsilon_{\perp}^n$ reduction	Yes	Yes
Demonstration of sustainable ionization cooling		
Observation of $\epsilon_{\perp}$ reduction with re-acceleration		Yes
Observation of $\epsilon_{\perp}$ reduction and $\epsilon_{\parallel}$ evolution		Yes
Observation of $\epsilon_{\perp}$ reduction and $\epsilon_{\parallel}$ and angular momentum		Yes ^a

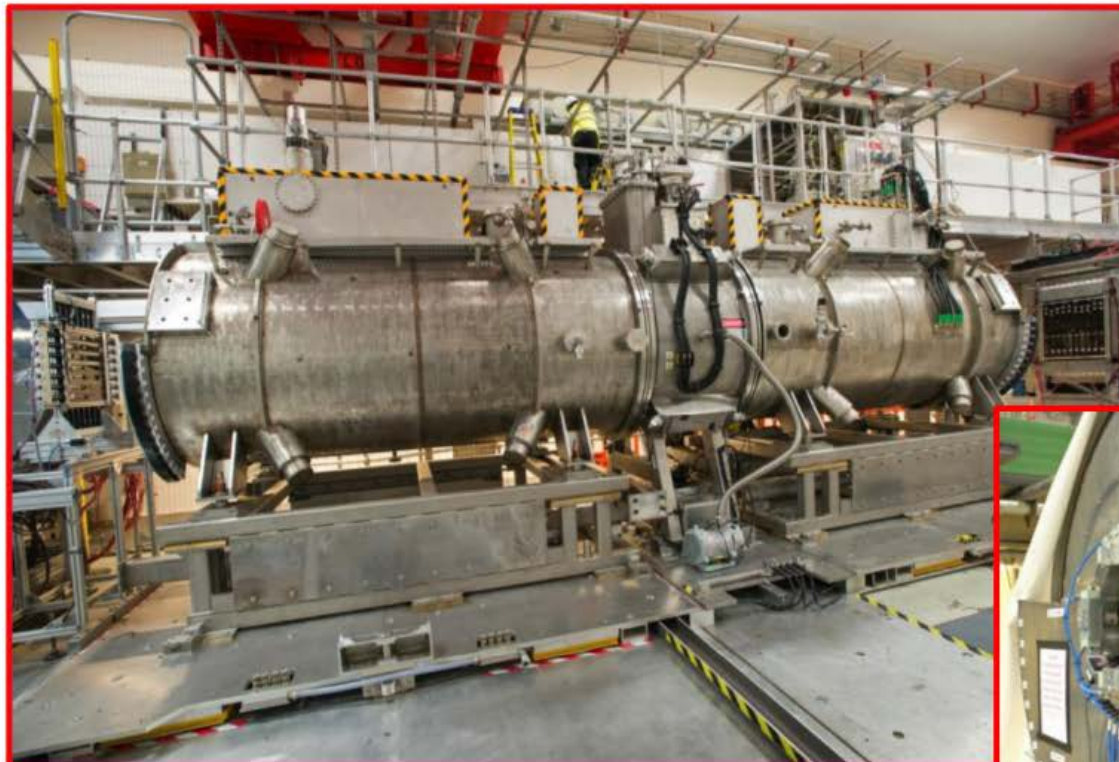
^aRequires systematic study of "flip" optics



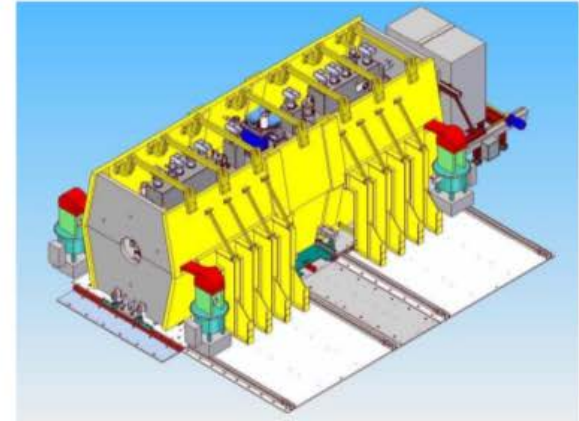
Completo per lo STEP IV



Una visione piu'dettagliata dei solenoidi



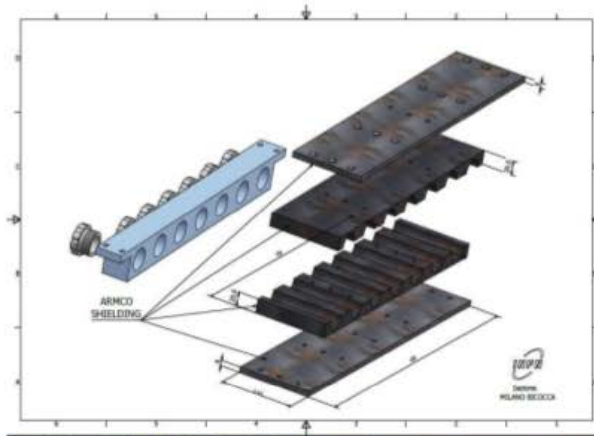
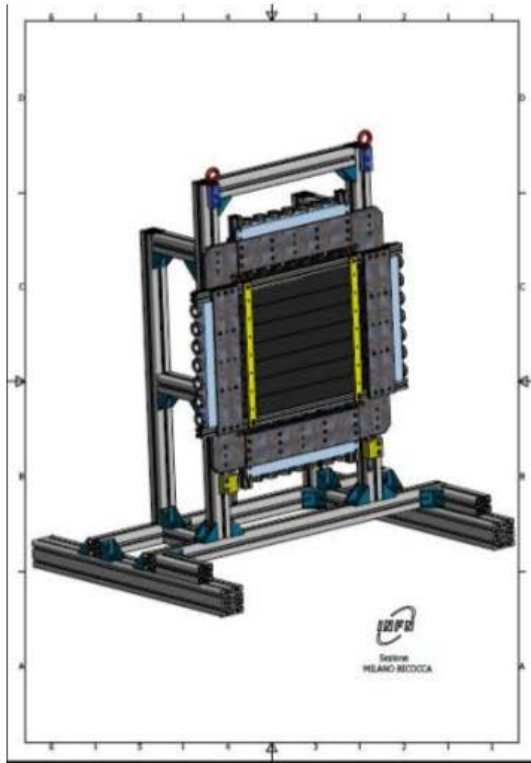
PRY per MICE



- I magneti di MICE sono costruiti senza giogo di ritorno
- Un "partial return yoke" (PRY) e' necessario per ridurre i fringe fields a < 0.1 mT fuori dai magneti.
- Per TOF1 cio' ha comportato uno schermaggio locale al posto della cage esterna (rifacimento rivelatore).



Local shielding of TOF1 (Nov 2014)



- Keep present mechanics structure for TOF1
- Adds only ARMCO plates for shielding to a reinforced structure
- Avoiding to move TOF1 detector from MICE Hall

Storia partecipazione INFN in MICE

- Si e' svolta prima in NTA (come NTA-MICE) e poi in Gr V come MICE ed e' regolata da un MOU firmato fra INFN e STFC a fine 2012
- Finanziamenti esterni: ~ 200KE dal RAL all' INFN nel 2007, attualmente stiamo cercando finanziamenti EU (proposal ETN MAT con capofila INFN, sottomessa a gennaio 2015, proposal EU COSTS ed EU RISE in corso di preparazione con anche nuovi collaboratori di MICE da Cina e Serbia)
- Attivita': principalmente rivolta ai rivelatori che instrumentano il fascio di MICE (sistema TOF+KL), ma anche prototipo EMR, studi iniziali magneti SC, ...
- Continua in MICE-2020 che punta a capitalizzare gli investimenti fatti dall' INFN negli ultimi anni ed ottenere i risultati relativi di Fisica degli acceleratori (STEP IV-STEP V nel 2015-2017)

Articoli, note e presentazioni



- M Bonesini, *Muon cooling: a key R&D towards Neutrino Factories and Muon Colliders*, (2014) Journal of Instrumentation
- M Bonesini, R Bertoni, O Barnaba, A de Bari, R Nardó, MC Prata, M Rossella, *Systematic Study of a SiPMT array readout for fast time-of-flight detectors*, (2014) Proceedings of Science
- M Bonesini, R Bertoni, A de Bari, R Nardó, M Prata, M Rossella, *Performance of SiPMT array readout for fast time-of-flight detectors*, (2014) Journal of Instrumentation

Ringraziamenti

- *Si ringrazia tutto il personale del servizio di elettronica dell'INFN e dell'Università di Pavia e l'officina meccanica.*
- *Si ringraziano inoltre R. Bertoni e R. Mazza della sezione INFN di Milano Bicocca.*



NeTTuNO

CDS 11 Giugno 2015

Status Report

Anagrafica PV

SAVERIO ALTIERI (RN)	70%
SILVA BORTOLUSSI (RL)	60%
NICOLETTA PROTTI	70%
FRANCESCA BALLARINI	100%
IAN POSTUMA	100%
ELIO GIROLETTI	40%
ROSANNA NANO	100%
CRISTINA ROVELLI	100%
TOT FTE	6.4

Anagrafica LNL

LAURA EVANGELISTA (RL)	40%
---------------------------	-----

Finanziato con 46k euro
a Pavia nel 2014

Attività Principali di NeTTuNO

1. WP1 test in vitro e in vivo di nuovi veicolanti del Boro su modelli animali di tumori toracici
2. WP2 misura del boro mediante PET in pazienti trattati con F-18-BPA (Borofenilalanina con F-18)
3. WP3 progetto di un fascio di neutroni per l'irraggiamento di pazienti.

WP1-1 Irraggiamento di topi sani e con metastasi polmonari trattati con un nuovi veicolanti del boro.

Dopo aver completato gli esperimenti in vitro sono state effettuate misure di efficacia della BNCT *in vivo*. Due modelli animali:

- topi transgenici EML4-ALK (metastasi polmonari sviluppate spontaneamente)
- topi BALB/c, tumore da carcinoma mammario (cellule TUBO).

D. Alberti et al. *A theranostic approach based on the use of a dual boron/Gd agent to improve the efficacy of Boron Neutron Capture Therapy in the lung cancer treatment” Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 11 (2015) 741–750”*

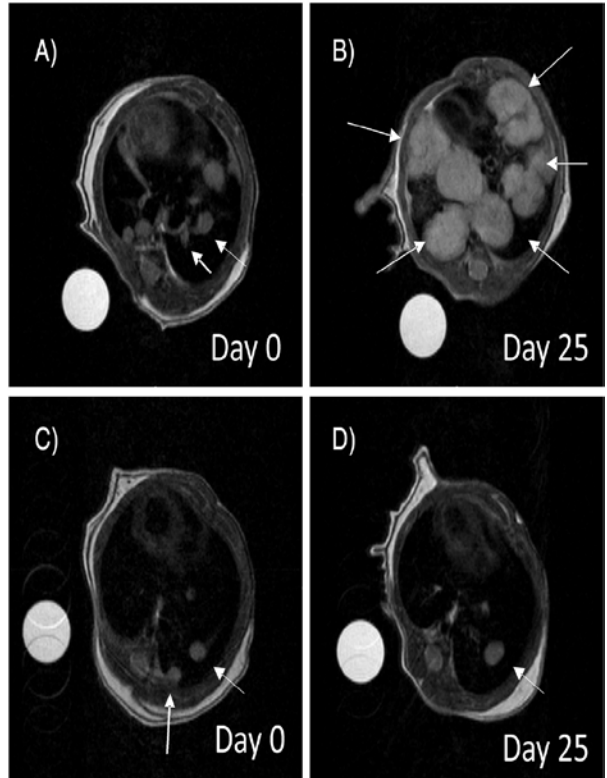
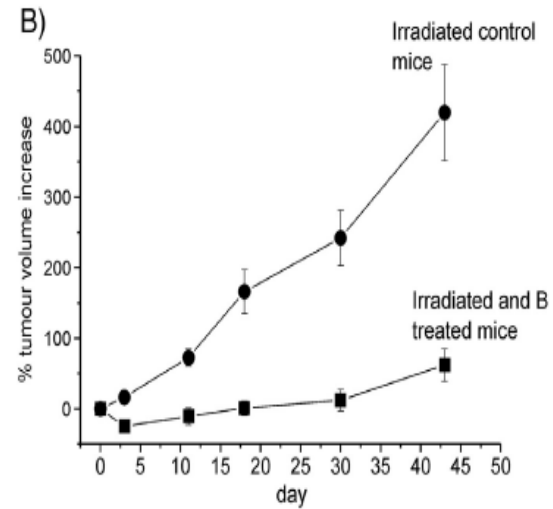
EML4-ALK

BALB-c

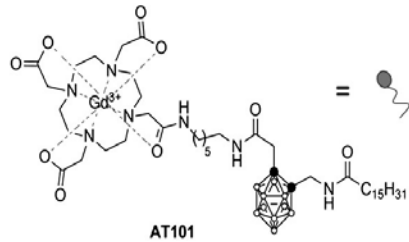
A)



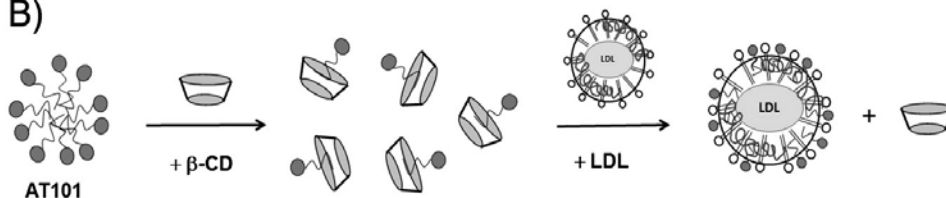
B)



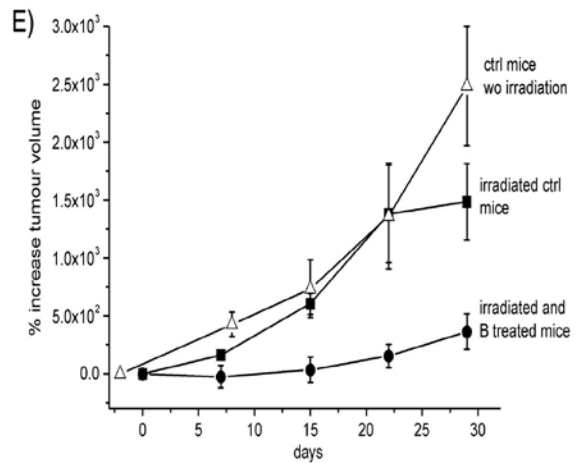
A)



B)



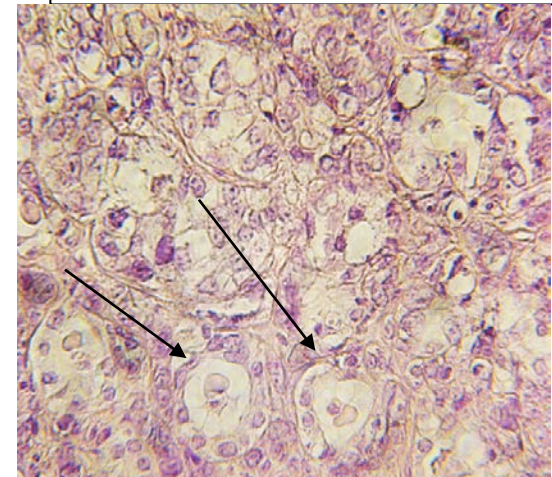
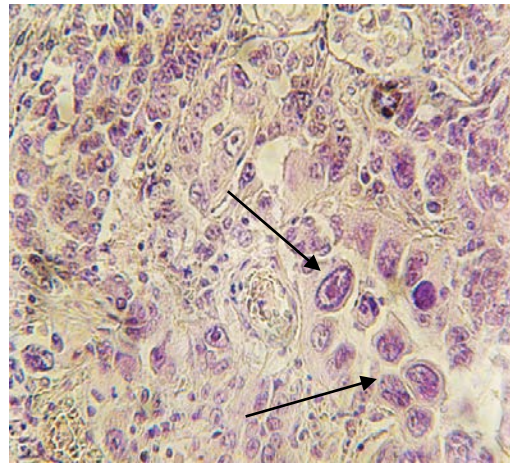
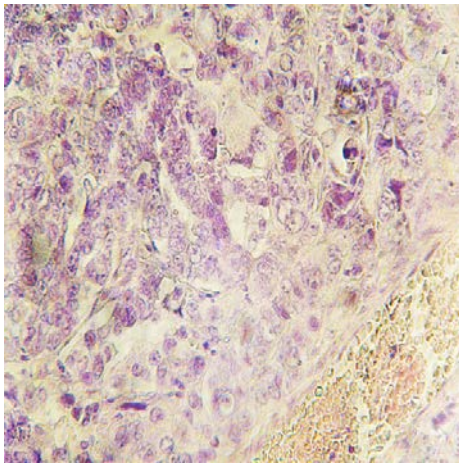
E)



WP1-2 irraggiamento di ratti sani e con metastasi polmonari trattati BPA

Analisi istologica di sezioni di polmoni irraggiati con e senza BPA, (300 mg/kg, 4h). Tempi di irraggiamento: 5', 10' e 15' a 250 kW. Follow-up time post-irraggiamento compreso fra 2 e 35 giorni.

Sani: nessun cambiamento rispetto ai sani non irraggiati



Aree necrotiche e apoptosi nei noduli tumorali. Cellule giganti multinucleate con morfologia nucleare aberrante/ nuclei multipli e/o micronuclei. Riduzione di densità cellulare: Danno al tumore, ma dose ancora bassa (9 Gy-Eq in media).

WP1-3 Modello animale di mesotelioma

- In collaborazione col Reparto di Pneumologia del Policlinico S. Matteo e l'Istituto per la Ricerca e la Cura del Cancro (IRCC) di Torino stiamo mettendo a punto un modello animale di mesotelioma umano, da cellule di mesotelioma umano contenute nel liquido di toracentesi (protocollo attivo). Una volta ottenuto il modello animale i topi verranno trattati con BPA e con la nuova formulazione sviluppata a Torino (AT101/LDL) per poi essere irraggiati a Pavia presso il Lena. Lo sviluppo del tumore sia prima che dopo il trattamento BNCT verrà seguito a Torino mediante MRI, come già fatto negli esperimenti delle metastasi polmonari.
- Questa parte della sperimentazione ha subito un rallentamento a causa di alcune difficoltà tecniche legate alla delicatezza della procedura di estrazione delle cellule dal liquido di toracentesi. In parallelo si sta procedendo anche con cellule di mesotelioma di topo.

WP2 la misura del boro mediante PET in pazienti trattati con F18-BPA

Perdurano le difficoltà legate all'ottenimento dell'autorizzazione da parte dell'AIFA ad usare la ^{18}F -BPA sui pazienti: questa mancata autorizzazione sta ostacolando anche la realizzazione di un progetto finanziato dal Ministero della Salute. Un sollecito è stato inviato alla ditta ACOM che dovrebbe produrre la ^{18}F BPA dopo aver ottenuto l'autorizzazione dall'AIFA.

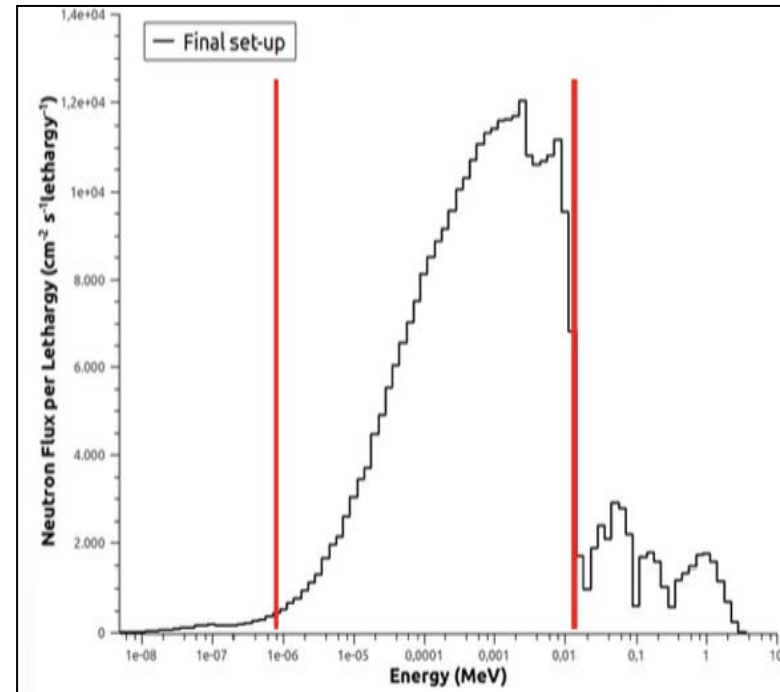
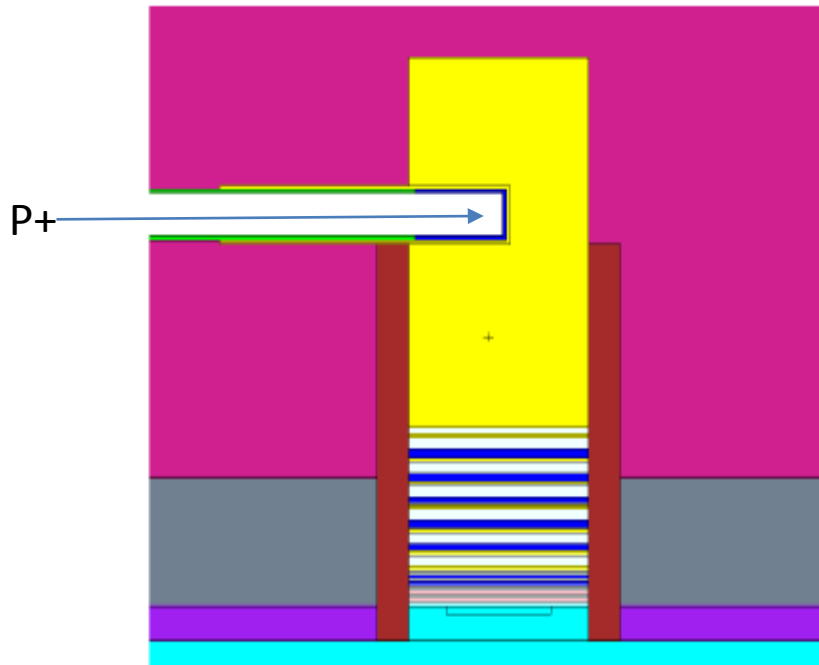
WP3 progetto di un fascio di neutroni per l'irraggiamento di pazienti

Design del Beam Shaping Assembly per un fascio di neutroni epitermico adatto a tumori profondi.

Sorgente: RFQ di LNL (progetto MUNES)

1. Tesi di Laurea Jacopo Valsecchi sulla facility CN a Legnaro: implementazione di un fascio termico e uno epitermico presso la stessa sorgente, per BNCT sperimentale. Studio di materiali adatti.
2. Tesi PhD Ian Postuma: BSA per RFQ e valutazione dosimetrica su modelli voxelizzati di pazienti (Treatment Planning)

BSA per sorgente puntiforme di n da p, Be a CN



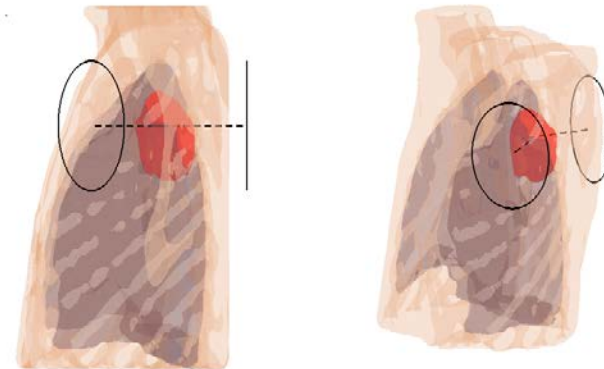
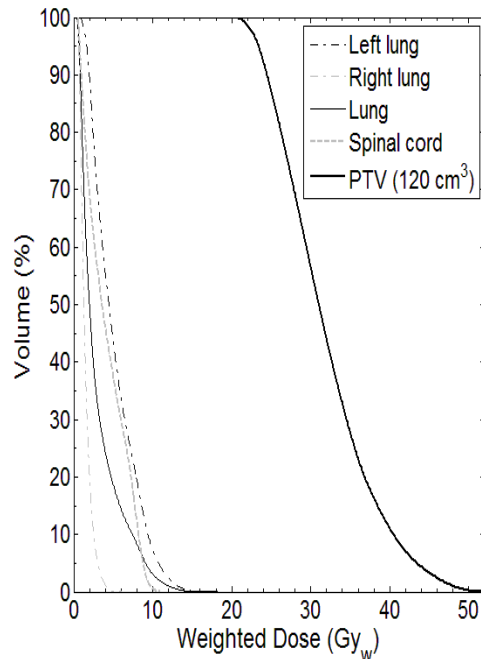
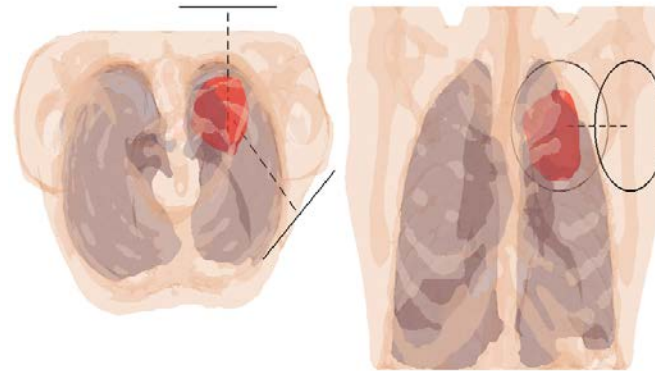
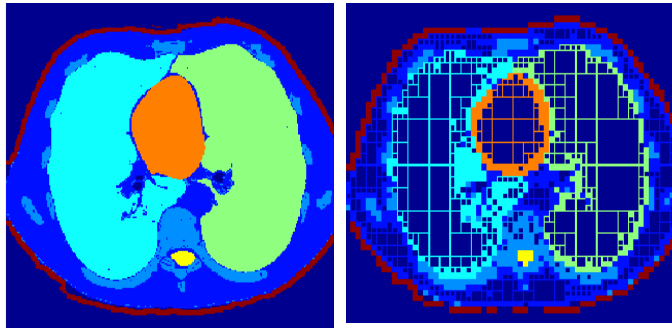
Sono rispettati tutti i criteri individuati dalla IAEA come linea guida per costruire un fascio adatto alla BNCT clinica.

Questa esperienza ha quindi chiarito molti aspetti sul BSA di RFQ

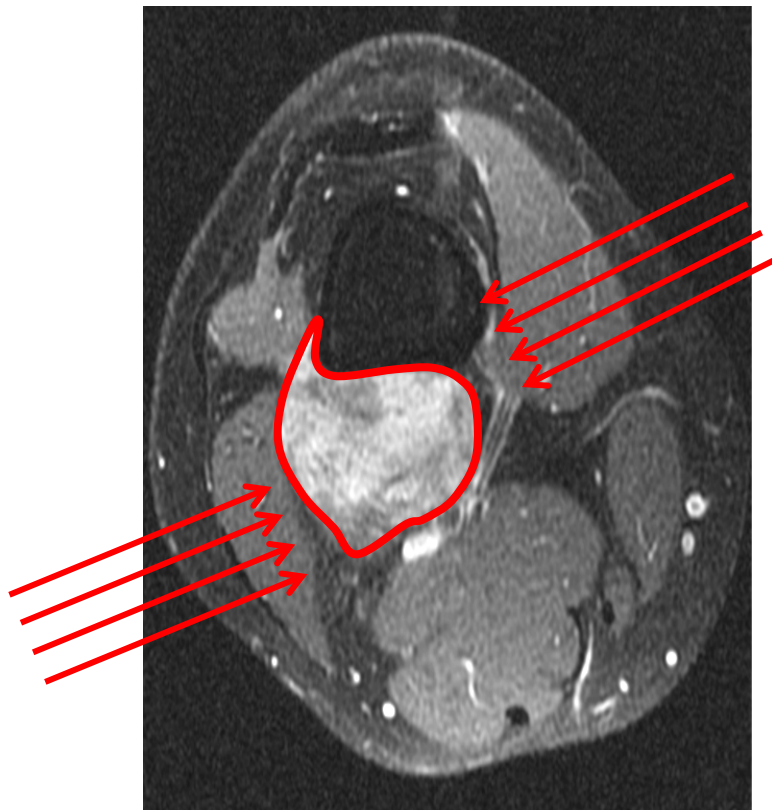
Oltre alle linee guida di IAEA, che sono SOLO INDICATIVE, la conformazione spettrale del fascio da usare per i pazienti viene da studi di treatment planning. In particolare, grazie alla collaborazione con CNEA, Argentina, abbiamo usato sia NCTPlan che MultiCell, due TP Systems per testare fasci ideali per tumori polmonari e osteosarcomi. Risultato: i fasci adatti per questi tumori hanno energie più basse rispetto a quelle normalmente usate in clinica.

Treatment Planning per BNCT del polmone

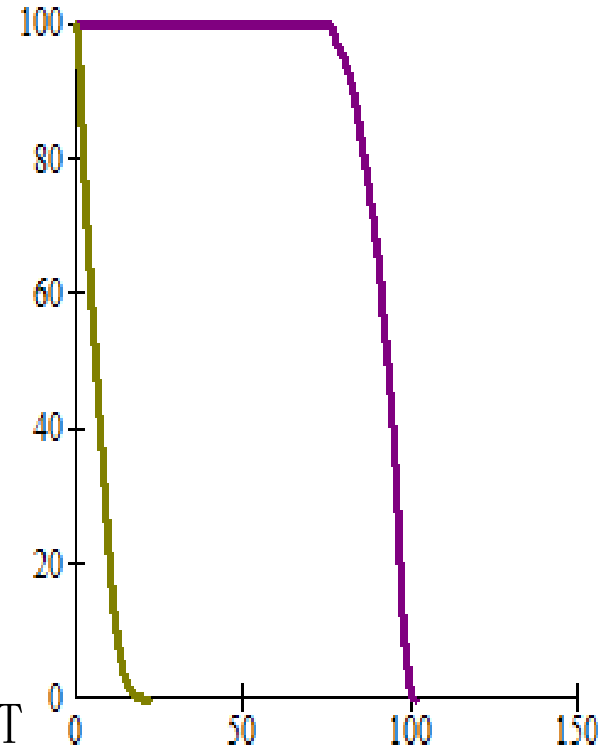
MultiCell, TP sviluppato da



Treatment Planning per BNCT di osteosarcoma



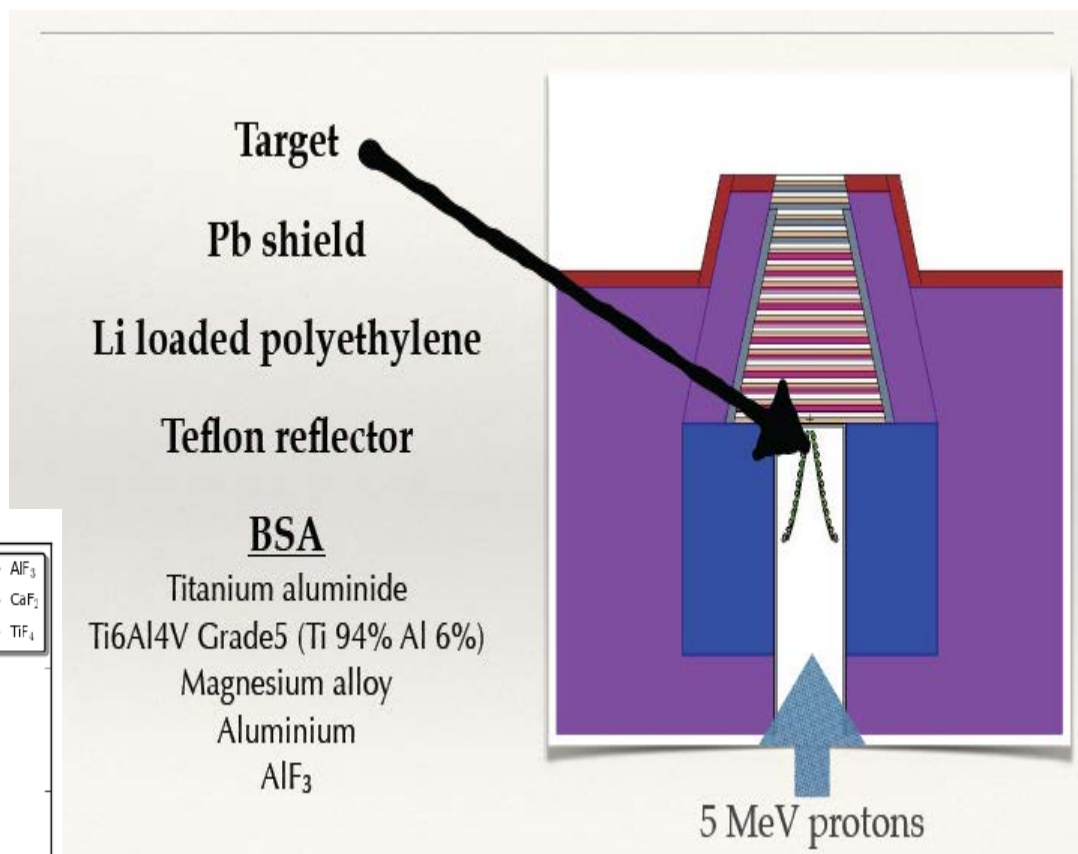
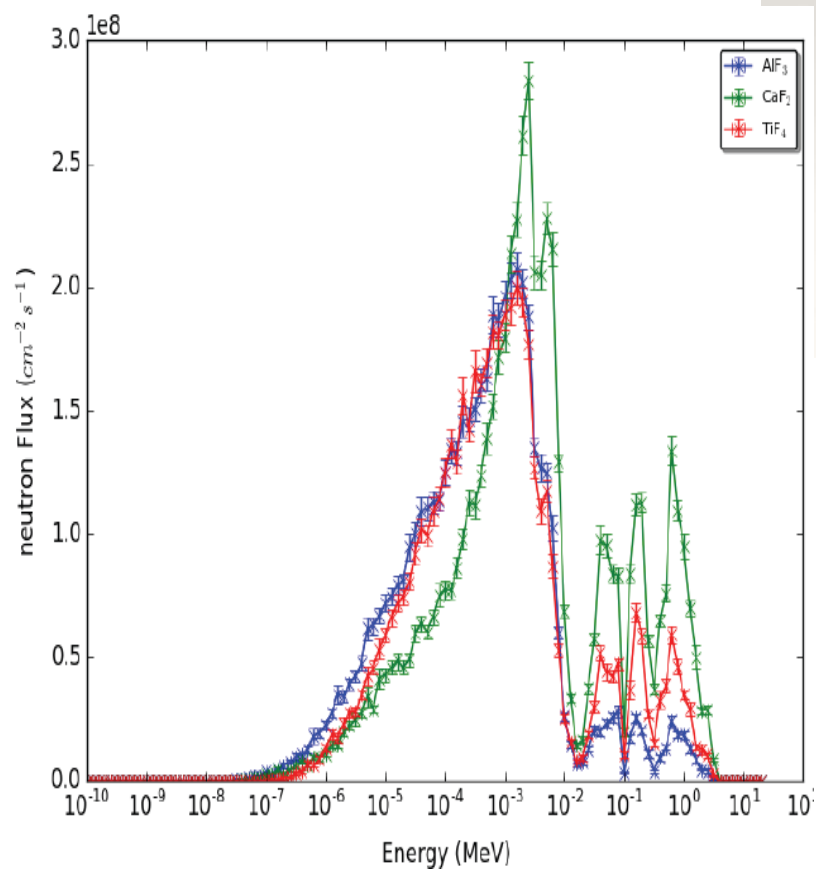
1 keV – 2 beam ports



NCTPlan, TP sviluppato da MIT

Source \ Gyw							
	Max skin	Mean skin	Max muscle	Mean muscle	Min tumor	Mean tumor	Max tumor
2 b.p.	22	6.7	21.4	8.4	72.6	91.7	101.5

BSA per RFQ, n da (p, Be)



Studio di materiali e geometrie

Collaborazioni

- CNEA (ARGENTINA):
 - Protocollo ex-situ per BNCT del polmone
 - Dosimetria per campo misto (formalismo *isoeffective dose*)
 - Radiobiologia
 - Treatment Planning
- INFN E UNIVERSITA' DI PALERMO
 - Caratterizzazione dosimetrica della colonna termica del TRIGA con alanina

Altre Attività

- Partecipazione a Congressi Nazionali e Internazionali (19 presentazioni)
- Attività legate alla possibilità di installare RFQ presso CNAO (vedi progetto strategico)
- Preparazione di Framework Agreement INFN-CNEA
- Organizzazione 8° Congresso dei Giovani Ricercatori in BNCT (8YBNCT), 13-17 settembre 2015, Pavia
- Notte dei Ricercatori e altre attività di divulgazione

Pubblicazioni 2014



	Titolo	Rivista
1	 Microdosimetric measurements in the thermal neutron irradiation facility of LENA reactor ISI ID della pubblicazione: WOS:000338606100033	APPL RADIAT ISOTOPES, 88- , (2014)
2	NEUTRON CAPTURE THERAPY RESEARCH AT INFN AND UNIVERSITY OF PAVIA ISI ID della pubblicazione: WOS:000346689700081	ANTICANCER RES, 34-12 , (2014)
3	 Biodistribution of the boron carriers boronophenylalanine (BPA) and/or decahydro... ISI ID della pubblicazione: WOS:000338606100022	APPL RADIAT ISOTOPES, 88- , (2014)
4	 Boron concentration measurements by alpha spectrometry and quantitative neutron ... ISI ID della pubblicazione: WOS:000338606100018	APPL RADIAT ISOTOPES, 88- , (2014)
5	 The BIANCA model/code of radiation-induced cell death: application to human cell... ISI ID della pubblicazione: WOS:000339898300006	RADIAT ENVIRON BIOPH, 53-3 , (2014)
6	 GAMMA RESIDUAL RADIOACTIVITY MEASUREMENTS ON RATS AND MICE IRRADIATED IN THE THE... ISI ID della pubblicazione: WOS:000344736600016	HEALTH PHYS, 107-6 , (2014)
7	 Synthesis of a carborane-containing cholesterol derivative and evaluation as a p... ISI ID della pubblicazione: WOS:000333089400015	ORG BIOMOL CHEM, 12-15 , (2014)
8	 Exploring Boron Neutron Capture Therapy for non-small cell lung cancer ISI ID della pubblicazione: WOS:000347103100005	PHYS MEDICA, 30-8 , (2014)

+ 5 uscite nel 2015

Neutargs

Anagrafica PV

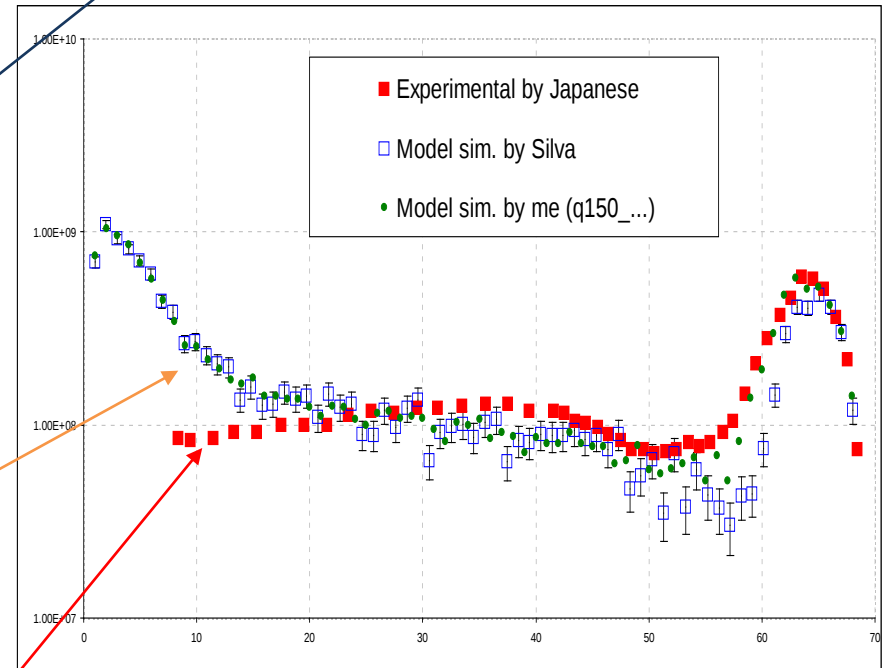
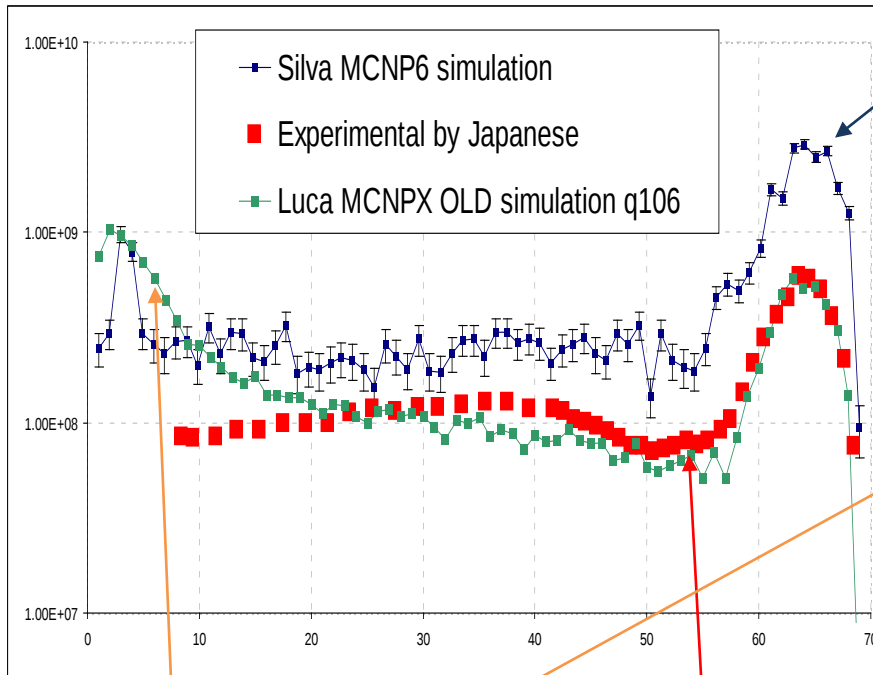
SILVA BORTOLUSSI (RL)	40%
SAVERIO ALTIERI	30%
NICOLETTA PROTTI	30%

Finanziamento di 3k euro a Pavia nel 2014

- Attività di simulazione (MCNPX, MCNP6, Fluka, Phits) legate alla possibilità di riprodurre fasci neutronici da reazione (p, Be) a diverse energie. Benchmark con dati sperimentali.
- Studi di schermature per sala sperimentale

MCNP6: confronto modelli e sezioni d'urto

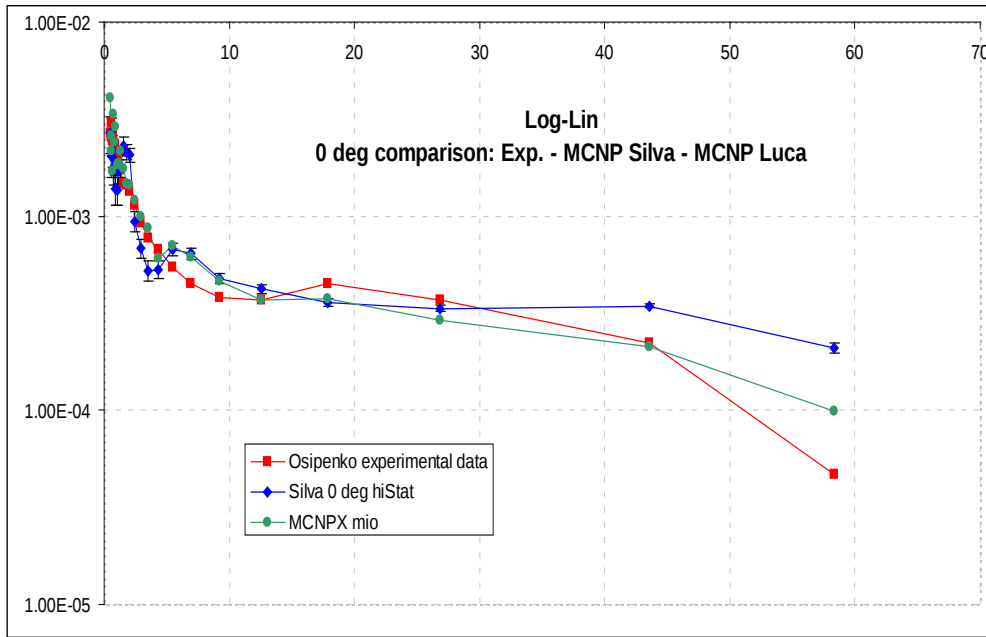
MCNP6 (sezioni d'urto) sbaglia il picco



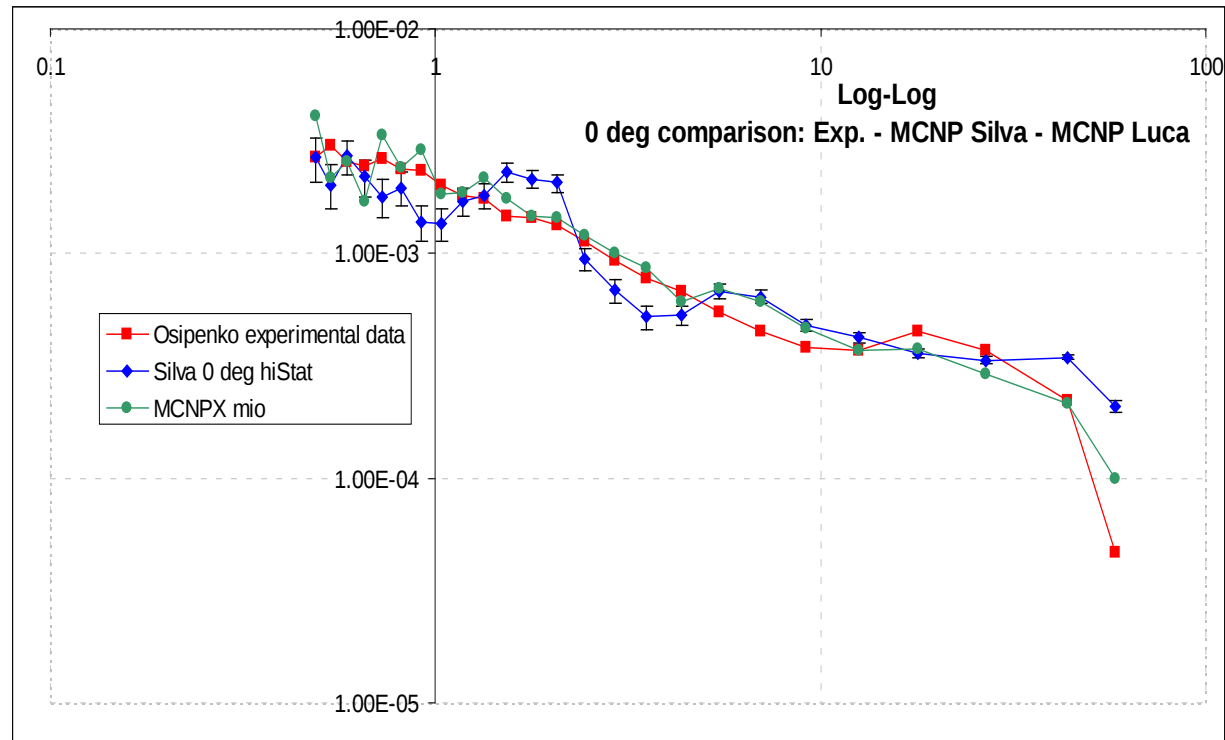
MCNPX sbaglia la coda
(modelli)

Sperimentali

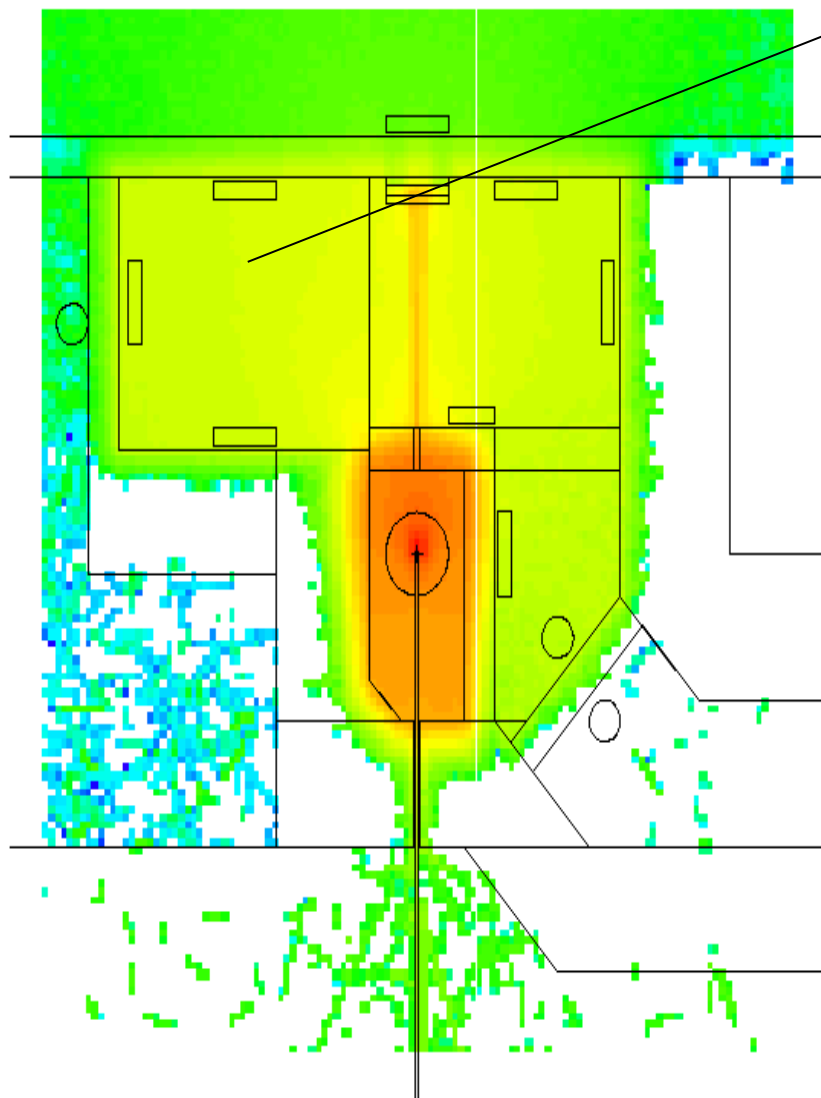
Benchmark Be target 4 mm
Protons 70 MeV



Benchmark Be target 26 mm
Protons 62 MeV



Benchmark thick Be target
Catania experimental data
62 MeV protons on 26 mm Be



Beam dump:
20 cm Fe + 20
cm Al + 20 cm
Polietilene
borato



NORMET

Responsabile nazionale: Maurizio Marrale

Responsabile locale: Armando Buttafava

Vai alla sezione: [CT](#) [PD](#) [PV](#)

SEZIONE	NOME COGNOME	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI	TECNOLOGI	TOT. PERS.	FTE	FTE / PERS.		
CT	Brai Maria				x			50			
	Carlino Antonio				x			70			
	Gallo Salvatore				x			70			
	Marrale Maurizio				x			50			
CT					2.4 fte	4 pers.	0 fte	pers.	4	2.4	0.600
SEZIONE	NOME COGNOME	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI	TECNOLOGI	TOT. PERS.	FTE	FTE / PERS.		
PD	Barbon Antonio				x			40			
	Tampieri Francesco				x			30			
	Zoleo Alfonso				x			30			
PD					1 fte	3 pers.	0 fte	pers.	3	1.0	0.333
SEZIONE	NOME COGNOME	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI	TECNOLOGI	TOT. PERS.	FTE	FTE / PERS.		
PV	Buttafava Armando				x			50			
	Dondi Daniele				x			50			
	Valassi Alberto				x			50			
	Zeffiro Alberto				x			50			
PV					2 fte	4 pers.	0 fte	pers.	4	2.0	0.500
TOTALE					5.4 FTE	11 PERS.	0 FTE	PERS.	11	5.4	0.491

Capitolo ▲	Descrizione ◆	Stanziato ◆	Variato ◆	Subjudice e Cong. ◆	Impegni ◆	Disponib. ◆	Proposta in corso ◆	Disp. Teorica ◆
U103 130120	MATERIALE DI CONSUMO AT 🇮🇹	5.000,00	0,00	0,00	4.991,62	8,38	0,00	8,38
Totale:		5.000,00	0,00	0,00	4.991,62	8,38	0,00	8,38

PUBBLICAZIONI:

Marrale, M., Gallo, S., Longo, A., Panzeca, S., Parlato, A., Buttafava, A., Dondi, D., Zeffiro, A. Study of the response of phenol compounds exposed to thermal neutrons beams for Electron Paramagnetic Resonance dosimetry (2015) Radiation Measurements, 75, pp. 15-20.

Marrale, M., Longo, A., Panzeca, S., Gallo, S., Principato, F., Tomarchio, E., Parlato, A., Buttafava, A., Dondi, D., Zeffiro, A. ESR response of phenol compounds for dosimetry of gamma photon beams (2014) Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 339, pp. 15-19.

L'unità di Pavia si è occupata della preparazione dei dosimetri utilizzati per le attività sperimentali. Sono stati prodotti due tipi differenti di dosimetri: cilindrici e a film. I dosimetri cilindrici, di dimensioni opportune per essere inserite nei tubi EPR, sono stati preparati con una procedura ottimizzata l'anno precedente. In particolare sono stati prodotti dosimetri aventi 10 % di paraffina e 90% di materiale sensibile (tutte le percentuali sono peso/peso). Il materiale sensibile, inizialmente alanina, è stato sostituito con successo da un fenolo largamente disponibile sul mercato: l'Irganox 1076. Per la dosimetria a neutroni si è utilizzato il 5% di ossido di gadolinio. Inoltre, grazie al supporto dell'officina dell'INFN di Pavia, è stato realizzato un formatore in acciaio inox per preparare i dosimetri cilindrici. L'unità di Pavia si è inoltre occupata della preparazione di film dosimetrici sia per dosimetria gamma che neutroni. La procedura di preparazione dei film è stata preceduta da vari tentativi, alla fine si è riusciti ad utilizzare materiale di basso costo e largamente disponibile come ad esempio il supporto costituito da fogli di acetato di cellulosa per stampanti a getto d'inchiostro. Come agente collante è stato utilizzato del polibutadiene. L'ottimizzazione della procedura ha portato ad un rapporto ideale tra solvente, collante e materiale dosimetrico, in modo da ottenere una soluzione dalla giusta viscosità per aderire al supporto polimerico. I film vengono prodotti per immersione nella soluzione e successiva essiccazione all'aria.



I dosimetri si sono rivelati efficaci nella determinazione di dosi terapeutiche di raggi gamma e neutroni. Altri studi, non ancora pubblicati, mostrano come possano essere utilizzati anche per la dosimetria di elettroni accelerati.

PixFEL

Consuntivi 2014

INFN Sezione di Pavia

Massimo Manghisoni

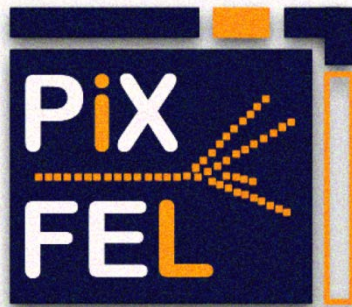
Università degli Studi di Bergamo

12 June 2015

The PixFEL Project

- Develop high performance X-ray imaging instrumentation for the experiments at the next generation of free electron lasers
- Use innovative solutions and technologies, investigated by the HEP community, to improve pixel detector performance for application to photon science
- Synergy with other activities going on in the HEP community: pixel detector development for LHC upgrade - slim edge, 65 nm CMOS, radiation hardness - and European projects - 3D integration
- Key technologies: active edge sensors, 65 nm CMOS process, vertical integration
- 3.7 FTE from INFN Pavia

53k euro finanziati nel
2014 a Pavia



<http://eil.unipv.it/pixfel/>

2014 main tasks and activities

Main tasks

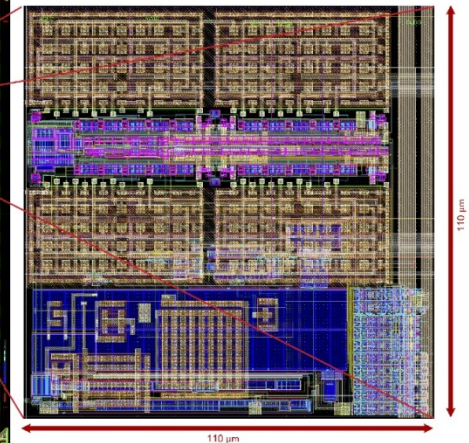
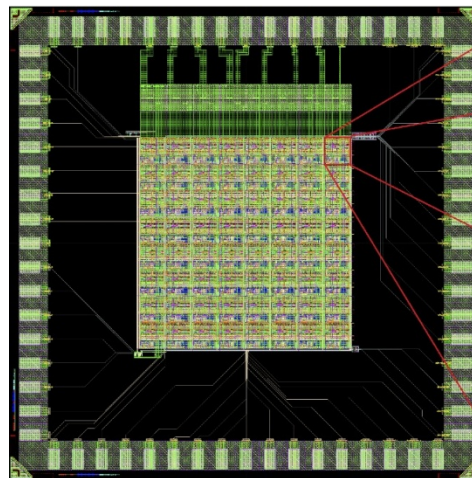
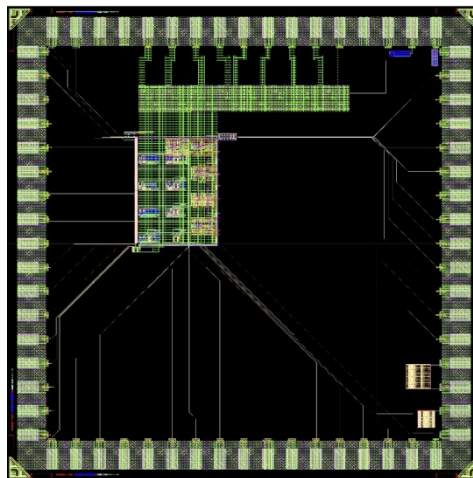
Design of the fundamental building blocks for the readout of a pixel detector

- Development of individual stages
- Integration of building blocks in a single tier 8×8 matrix

2014 activities

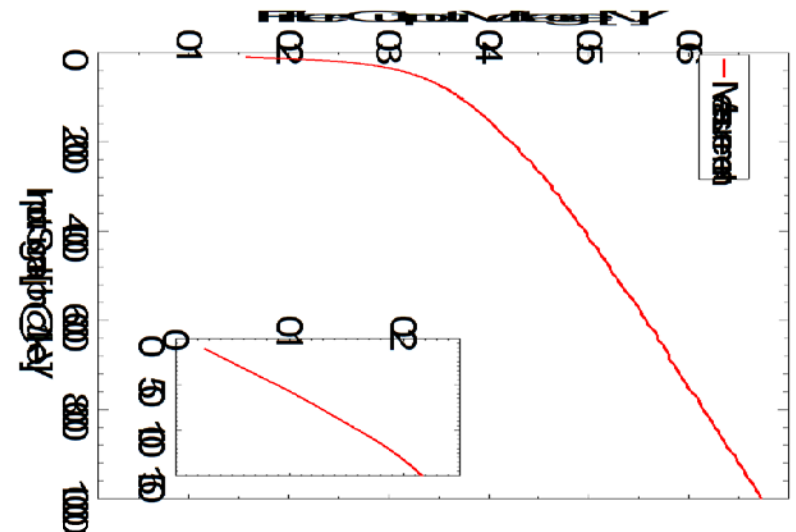
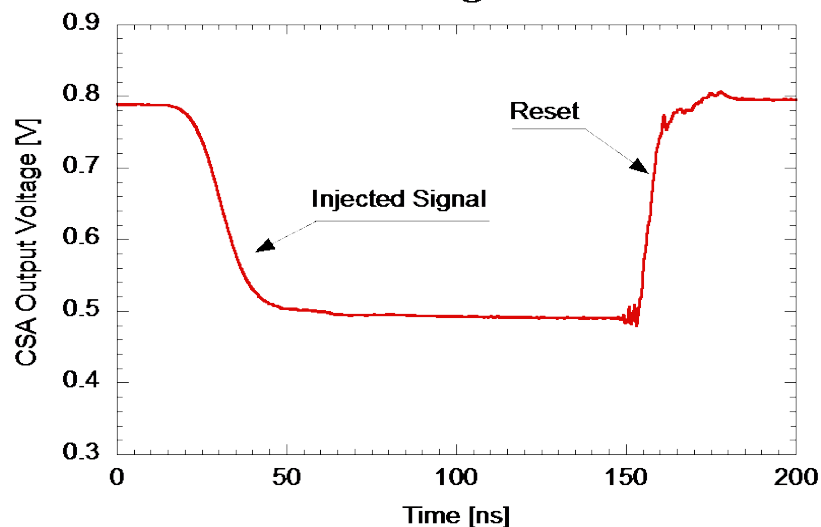
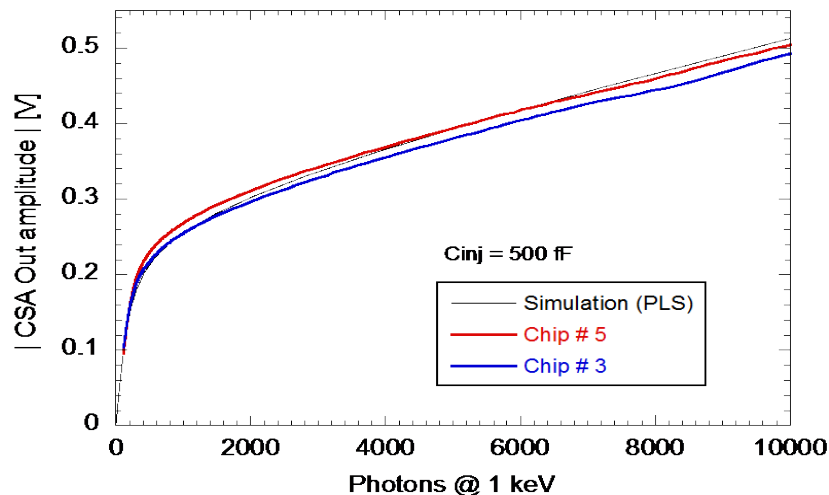
2 ASICs in 65 nm CMOS technology produced through Europractice with the mini@sic option (1920 μm ×1920 μm)

- **PFT1 chip:** test structures with single blocks (CSA with signal compression, SAR ADC, circuits for gain calibration, single MOS capacitors)
- **PFM1 chip:** 8×8 pixel matrix, with a 110 μm pitch with simple readout electronics



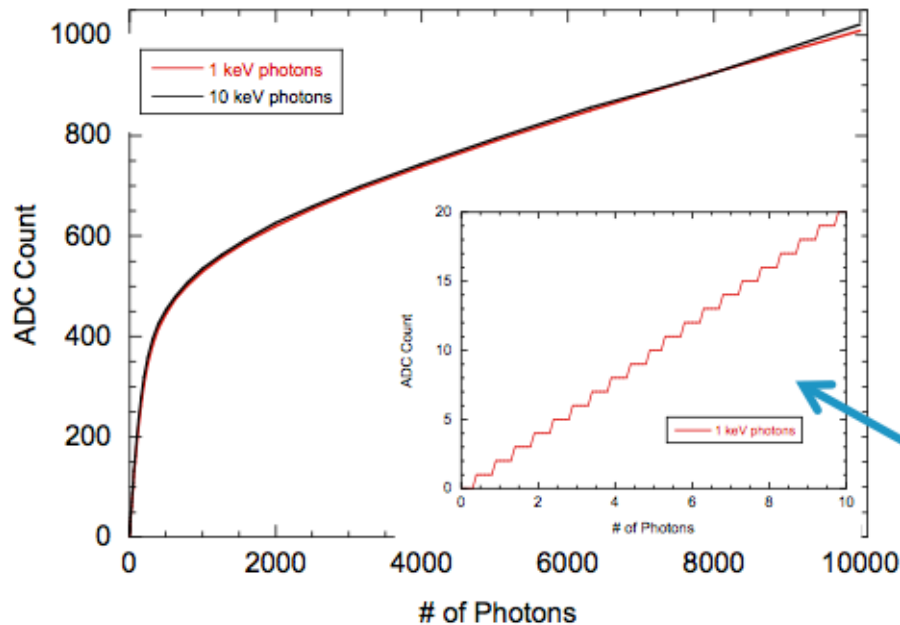
Preliminary Results on PFT1 Chip

Full analog channel operated successfully with 50 ns integration time → compatible with Eu-XFEL



- Charge amplifier shows the expected bilinear feature in the gain, in good agreement with PL simulation
- Fast transition and reset time measured (< 30 ns) compatible with 4.5 MHz operation of Eu-XFEL
- Full channel response measured with filter operated successfully @ 50 ns integration time

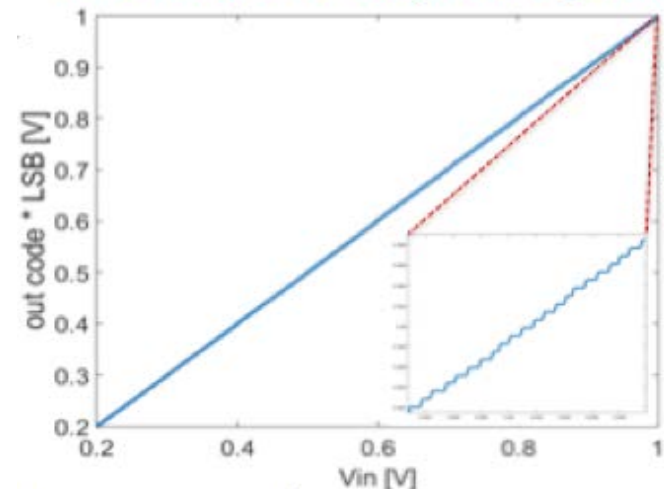
10-bit SAR ADC Performance



- Preliminary measurement of the ADC-only response shows good linearity over the full (range 0.2-1 V)

- ADC simulated performance
 - 0.2-1 V input dynamic range
 - INL and DNL < 0.5 LSB
 - SNR 60 dB (ENOB=9.6)
 - Power 70+15 uW
- ADC Area 5000 μm^2
- ADC dynamic range well covered
- Well detectable bilinear response of CSA
- First 10 photons well detectable

ADC measured response @ 20 MHz



Presentations

- V. Re, “The PixFEL project: advanced fine-pitch X-ray pixel detectors for the next generation FEL facilities”, *Workshop on Research opportunities at the European X-ray Free Electron Laser*, Università di Bologna, July 4, 2014
- G. Rizzo, “The PixFEL Project: development of advanced X-ray pixel detectors for application at future FEL facilities”, *Pixel 2014*, Niagara Falls, Canada, September 1-5, 2014
- M. Manghisoni, “Novel Active Signal Compression in Low-noise Analog Readout at Future XFEL Facilities”, *Pixel 2014*, Niagara Falls, Canada, September 1-5, 2014
- L. Ratti “The PixFEL project: developing a fine pitch, fast 2D X-ray imager for the next generation X-FELs”, *10th International Conference on Radiation Effects on Semiconductor Materials, Detectors and Devices (RESMDD14)*, 8-10 October 2014
- G.F Dalla Betta, “Design and TCAD Simulations of Planar Active- Edge Pixel Sensors for Future XFEL Applications”, *IEEE Nuclear Science Symposium*, Seattle, WA USA, 8-15 November 2014
- L. Ratti, “PixFEL: enabling technologies, building blocks and architectures for advanced X-ray pixel cameras at the next generation FELs”, *IEEE Nuclear Science Symposium*, Seattle, WA USA, 8-15 November 2014
- D. Comotti, “Low-Noise Readout Channel with a Novel Dynamic Signal Compression for Future XFEL Applications”, *IEEE Nuclear Science Symposium*, Seattle, WA USA, 8-15 November 2014
- G. Rizzo, “The PixFEL Project : progress towards a fine pitch X-ray imaging camera for next generation FEL facilities” , *13th Pisa Meeting on Advanced Detectors* - 24 - 30 May 2015 - La Biodola, Isola D'Elba (Italy)
- L. Lodola “In-pixel conversion with a 10 bit SAR ADC for next generation X-ray FELs”, *13th Pisa Meeting on Advanced Detectors* - 24 - 30 May 2015 - La Biodola, Isola D'Elba (Italy)
- G.F Dalla Betta, “Design and TCAD simulation of planar p-on-n active- edge pixel sensors for the next generation of FELs”, *13th Pisa Meeting on Advanced Detectors* - 24 - 30 May 2015 - La Biodola, Isola D'Elba (Italy)

Publications



- L. Ratti, D. Comotti, L. Fabris, M. Grassi, L. Lodola, P. Malcovati, M. Manghisoni, V. Re, G. Traversi et al, “PixFEL: developing a fine pitch, fast 2D X-ray imager for the next generation X-FELs”, *Nucl. Instrum. Meth.*, in press, available online, doi:10.1016/j.nima.2015.03.022
- G. Rizzo, D. Comotti, L. Fabris, M. Grassi, L. Lodola, P. Malcovati, M. Manghisoni, L. Ratti, V. Re, G. Traversi et al, , “The PixFEL project: development of advanced X- ray pixel detectors for application at future FEL facilities”, *Journal of Instrumentation*, 2015 JINST 10 C02024
- M. Manghisoni, D. Comotti, L. Gaioni, L. Lodola, L. Ratti, V. Re, G. Traversi, C. Vacchi, “Novel active signal compression in low-noise analog readout at future X-ray FEL facilities”, *Journal of Instrumentation*, 2015 JINST 10 C04003

ReDSOX

Research Detectors for Soft X-Rays

Piero Malcovati

Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione
Università di Pavia

Scopi del Progetto

- **Linea di ricerca**
 - Sviluppo camere a deriva di silicio di grande superficie ed elettronica a basso rumore per spettroscopia ed imaging di X-ray
 - Applicazioni in astrofisica X e γ , monitoraggio ambientale, diagnostica medica, Advanced Light Sources (Sincrotroni e FEL)
- **Sezioni partecipanti**
 - TS, BO (IASF-BO), ROMA2 (IAPS-ROMA), MI (PoliMI), PV (UniPV)
- **Collaborazioni**
 - FBK Trento, Sincrotrone Trieste
- **Durata progetto**
 - 2013-2014
- **Responsabile nazionale**
 - A. Vacchi
- **Responsabile locale**
 - P. Malcovati

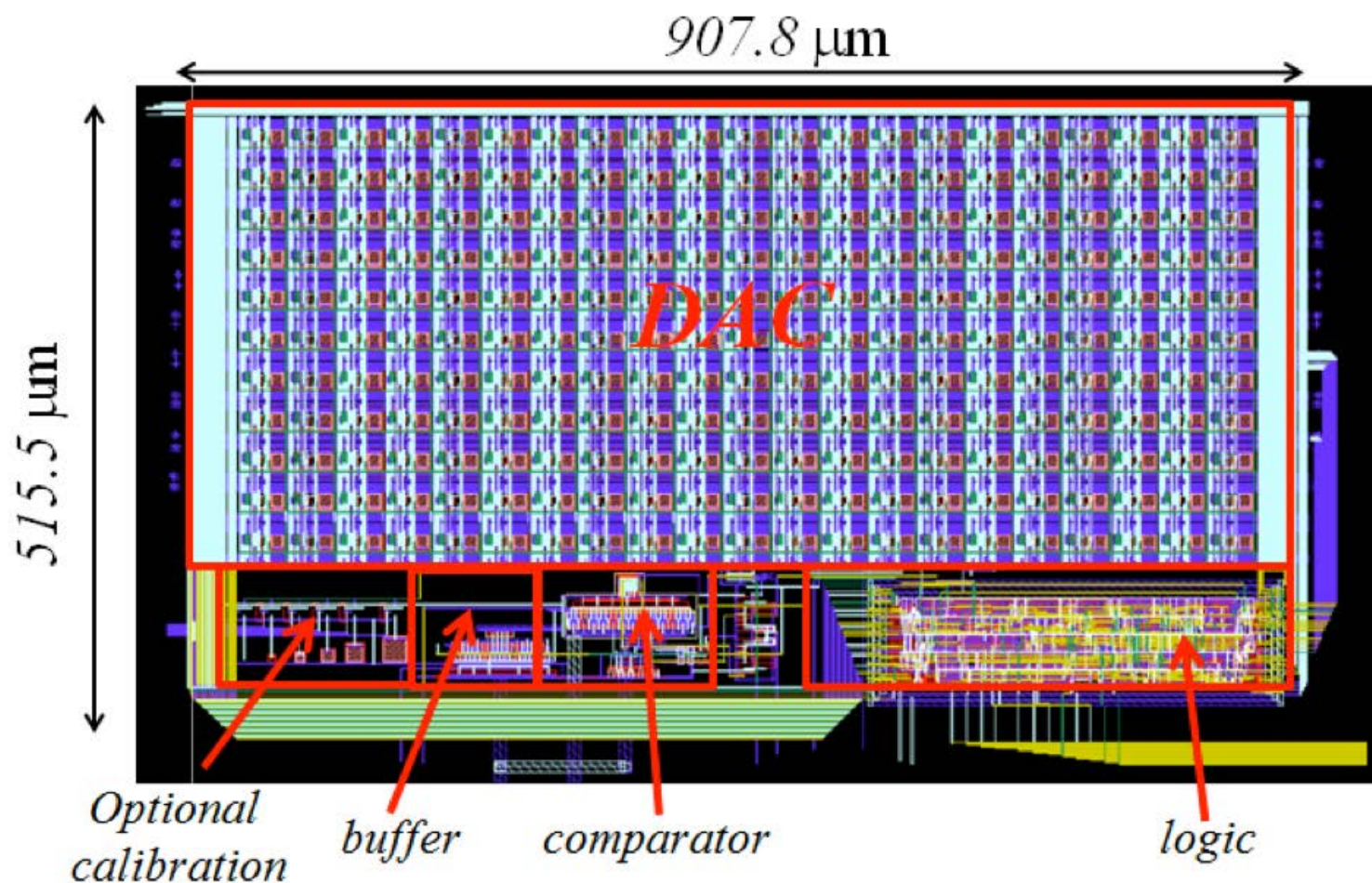
Attività 2014

- Ulteriore sviluppo di camere a deriva di silicio di grande superficie
- **Evoluzione e completamento dell'elettronica a basso rumore per spettroscopia ed imaging di X-ray (ADC): Sezione di Pavia**
- Applicazioni nei campi di astrofisica X e γ , diagnostica medica (camera Compton), Advanced Light Sources (Sincrotrone e FEL)
- Stretta interazione con la proposta LOFT per la mission call M4 dell'ESA
- **Personale strutturato della Sezione di Pavia: 0.8 FTE**
 - Piero Malcovati: 40%
 - Marco Grassi: 40%

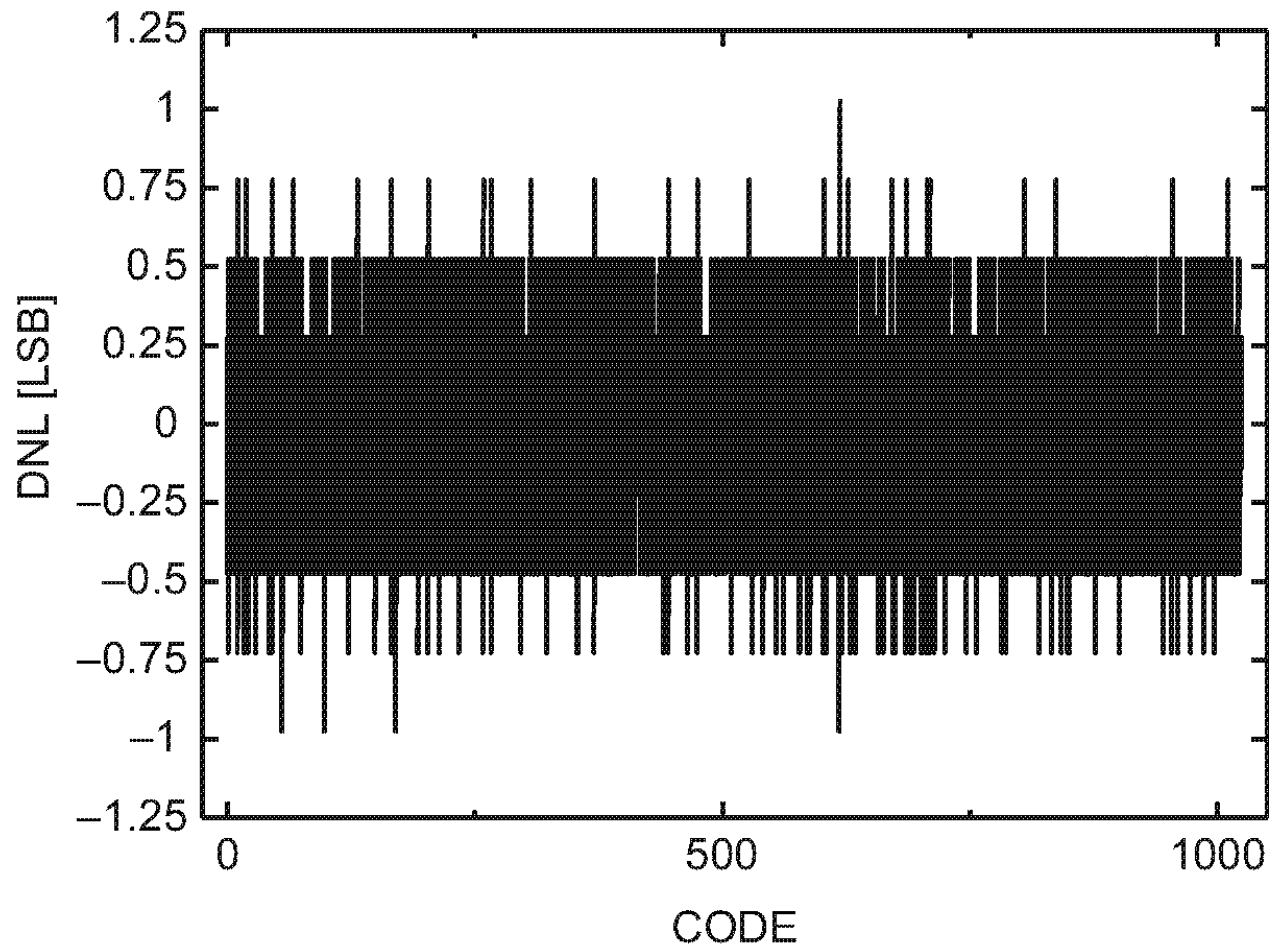
Risultati 2014: ADC

- ADC ad approssimazioni successive
 - Risoluzione: 10 bit
 - Consumo di potenza: 300 μW
 - Frequenza di campionamento: 200 kHz
- Chip realizzato in tecnologia CMOS 0.35 μm
 - SNDR misurato: 55.4 dB
 - ENOB misurato: 9 bit
 - Consumo di potenza misurato: 270 μW

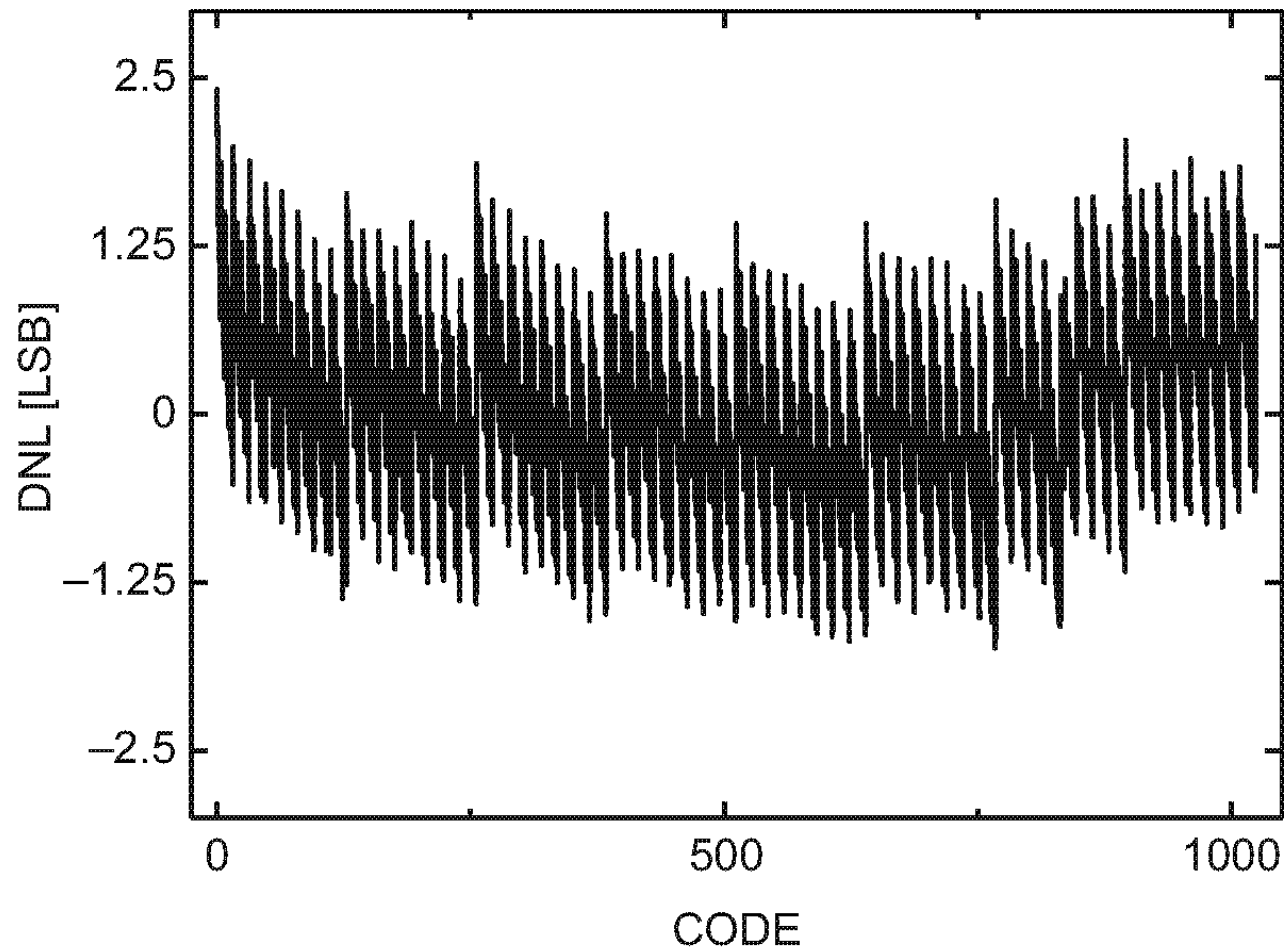
Risultati 2014: ADC Chip



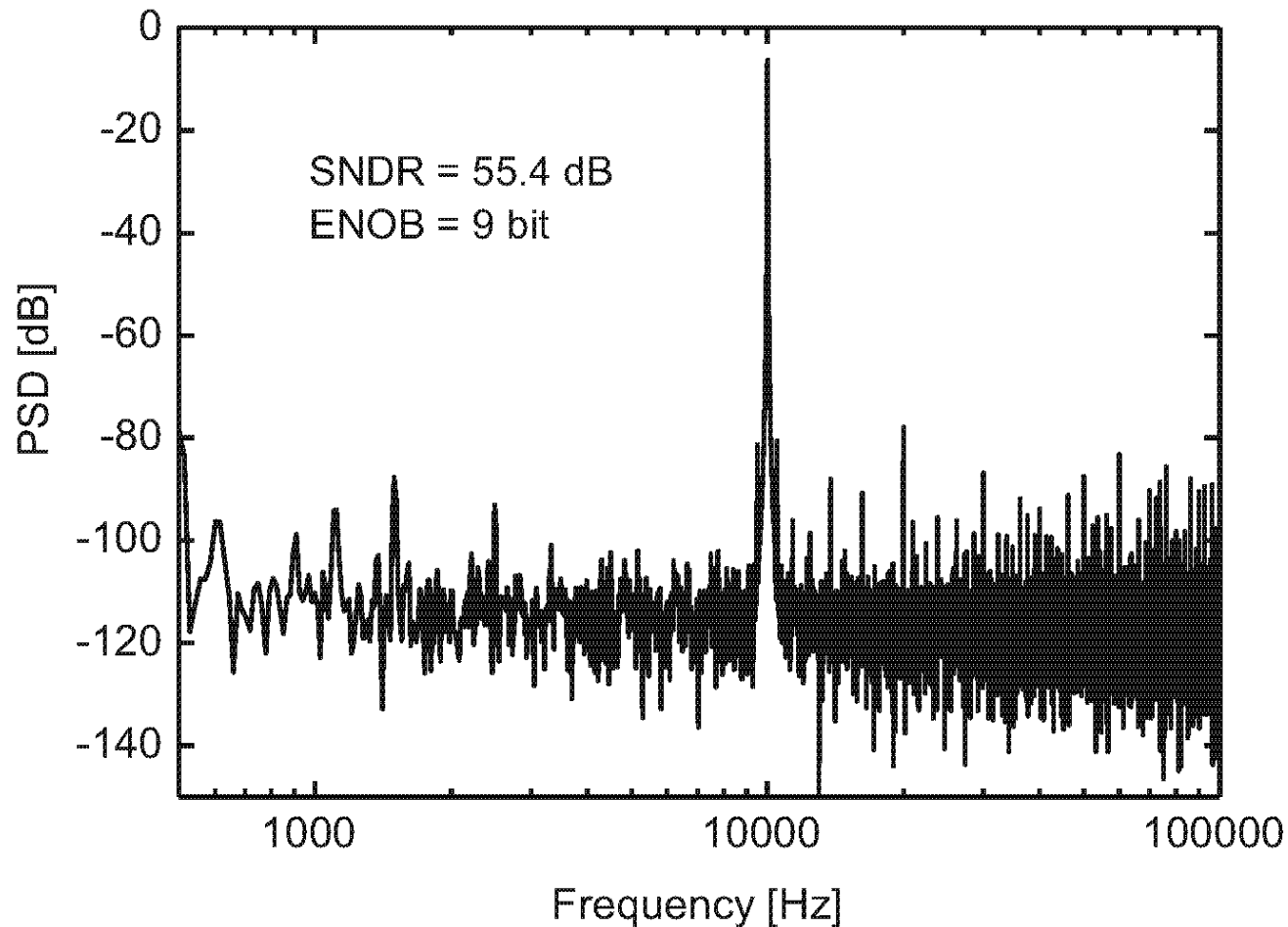
Risultati 2014: ADC DNL



Risultati 2014: ADC INL



Risultati 2014: ADC Spectrum



Attività Residue

- Partecipazione a campagne di misura su camere a deriva di silicio di grande superficie
- **Integrazione in singolo chip dell'ADC e dell'array di circuiti di front-end in corso di discussione all'interno del team**
- In caso si decida per l'integrazione del chip verrà chiesto lo sblocco dei fondi relativi SJ

Consuntivo 2014/Preventivo 2015



Voce	Consuntivo 2014	Preventivo 2015
Servizi Trasporti e Facchinaggio Attività Laboratorio	0.00 €	0 €
Licenze Software	0.00 €	0 €
Trattamento Missioni	1,000.00 €	1,000 €
Materiale di Consumo Attività Laboratorio	2,000.00 €	16,500 € (SJ)
Impianti Attrezzature Macchinari	0.00 €	0 €
Totale	3,000.00 €	1,000 € 16,500 € (SJ)
Residuo	15.96 €	—

TANTARA

Responsabile nazionale: Roberto Cherubini

Responsabile locale: Armando Buttafava

Vai alla sezione: [AQ](#) [LNL](#) [PV](#) [RM3](#)

SEZIONE	NOME COGNOME	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI	TECNOLOGI	TOT. PERS.	FTE	FTE / PERS.
AQ	Di Paolo Emilio				x			0	
	Maurizio								
	Palladino Libero				x			70	
	Zamai Loris				x			100	

AQ					1.7 fte	3 pers.	0 fte	pers.	3	1.7	0.567
----	--	--	--	--	---------	---------	-------	-------	---	-----	-------

SEZIONE	NOME COGNOME	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI	TECNOLOGI	TOT. PERS.	FTE	FTE / PERS.
LNL	Celotti Lucia				x			30	
	Cherubini Roberto				x			100	
	De Nadal Viviana				x			100	
	Ianzini Fiorenza				x			30	
	Mackey Michael				x			30	

LNL					2.9 fte	5 pers.	0 fte	pers.	5	2.9	0.580
-----	--	--	--	--	---------	---------	-------	-------	---	-----	-------

SEZIONE	NOME COGNOME	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI	TECNOLOGI	TOT. PERS.	FTE	FTE / PERS.
PV	Buttafava Armando				x			50	
	Dondi Daniele				x			50	
	Facoetti Angelica				x			60	
	Valassi Alberto				x			50	
	Zeffiro Alberto				x			50	

PV					2.6 fte	5 pers.	0 fte	pers.	5	2.6	0.520
----	--	--	--	--	---------	---------	-------	-------	---	-----	-------

SEZIONE	NOME COGNOME	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI	TECNOLOGI	TOT. PERS.	FTE	FTE / PERS.
RM3	Antoccia Antonio				x			50	
	Berardinelli Francesco					x		70	
	Sgura Antonella					x		60	
	Tanzarella Caterina					x		0	

RM3					0.5 fte	1 pers.	1.3 fte	3 pers.	4	1.8	0.450
-----	--	--	--	--	---------	---------	---------	---------	---	-----	-------

TOTALE					7.7 FTE	14 PERS.	1.3 FTE	3 PERS.	17	9	0.529
--------	--	--	--	--	---------	----------	---------	---------	----	---	-------

Capitolo ▲	Descrizione ◆	Stanziato ◆	Variato ◆	Subjudice e Cong. ◆	Impegni ◆	Disponib. ◆	Proposta in corso ◆	Disp. Teorica ◆
U103 130120	MATERIALE DI CONSUMO AT ☒	3.000,00	0,00	0,00	2.828,42	171,58	0,00	171,58
Totale:		3.000,00	0,00	0,00	2.828,42	171,58	0,00	171,58

Nieri, D., Berardinelli, F., Sgura, A., Cherubini, R., De Nadal, V., Gerardi, S., Tanzarella, C., Antocchia, A. Cyogenetics effects in AG01522 human primary fibroblasts exposed to low doses of radiations with different quality (2013) International Journal of Radiation Biology, 89 (9), pp. 698-707.

L'attività svolta nell'anno 2014 ha avuto come obiettivo prevalente mettere a punto metodiche di preparazione dei campioni, modalità di irraggiamento, tecniche di spin-trapping e analisi dei dati preliminari alla sperimentazione sulle colture cellulari di interesse specifico del progetto. Per tale scopo è stata usata una coltura di cellule tumorali umane di tipo HeLA in mezzo RPMI1640 da Sigma-Aldrich e sono state testate tecniche di intrappolamento di radicali.

L'attività è stata svolta con due differenti metodologie:

- irraggiamento a bassa temperatura e misura EPR dei radicali formati
- intrappolamento radicali a temperatura ambiente con tecniche di *spin trapping*

Irraggiamento di colture cellulari con radiazioni gamma

I campioni sono stati preparati lavando velocemente con acqua e centrifugando le colture cellulari a 500xg. Il pellet ottenuto è stato congelato in azoto liquido, messo sotto vuoto in contenitori di quarzo e irraggiato gamma a 77K con dose di 50 Gy. I campioni sono stati quindi analizzati mediante Spettroscopia Paramagnetica Elettronica (EPR) alla temperatura di 120K e successivamente sottoposti ad annealing termico per seguire l'evoluzione ed il decadimento delle specie radicaliche. La presenza di eventuali specie paramagnetiche derivanti dal mezzo di coltura è stata verificata sottoponendo ad irraggiamento un campione della soluzione di nutrienti.

L'analisi degli spettri EPR ha permesso di individuare la presenza di radicali ossidrilici $\text{OH}\bullet$ derivanti dalla radiolisi dell'acqua. Nel campione di coltura cellulare sono però presenti anche radicali organici derivanti da componenti cellulari. E' evidente che il lavaggio e la compattazione delle cellule rendono trascurabile il contributo delle specie radicaliche derivanti dal mezzo di coltura. La resa radiolitica $G(\text{radicali})$, calcolata attraverso il confronto con uno standard costituito da una soluzione a concentrazione nota di TEMPOLO, è risultata di circa $5 \times 10^{-8} \text{ mol/kg}$.



La caratterizzazione di intermedi reattivi, quali i radicali liberi, può normalmente essere effettuata solo a bassa temperatura, dove queste specie sono bloccate e impedito di reagire. Alternativamente, la spettroscopia EPR abbinata allo spin trapping può essere applicata con successo per intrappolare i radicali liberi di vita breve, coinvolti come intermedi in un processo radiolitico, e permettere la loro caratterizzazione come addotti nitrossilici. Le specie catturate possono essere identificate attraverso il loro spettro EPR, poiché contribuiscono in modo ben evidente alla struttura iperfine dell'addotto. La relativa stabilità degli addotti nitrossidici è uno dei fattori che rendono questa tecnica di notevole valore. E' possibile infatti andare ben oltre la temperatura di fusione del campione e registrare gli spettri in fase liquida in condizioni di risoluzione e di isotropia ottimali.

Come intrappolatore di radicali è stato usato il 5,5-dimetil-1-pirrolina N-ossido (DMPO). Il DMPO forma addotti particolarmente stabili con i radicali ossidrilici (tempo di dimezzamento dell'addotto di circa 30 minuti in soluzione acquosa a temperatura ambiente). E' stata testata la stabilità di soluzioni di DMPO (2.0×10^{-2} M) sia nel solo mezzo di coltura che in omogeneizzati di colture cellulari. Sia la soluzione nutritiva che l'omogeneizzato di cellule provocano la formazione di più addotti paramagnetici, alcuni caratterizzati da una struttura iperfina.

SPES Selective Production of Exotic Species

RIB Facilities

Responsabile nazionale GianFranco Prete

Sezioni

Bologna

Lab. Naz. di Legnaro

Lab. Naz. del Sud

Milano

Napoli

Pavia

Istituzioni esterne all'Ente partecipanti

CERN

ORNL (USA)

ENEA

TRIUMF (Vancouver)

MSU(USA)

GANIL (Francia),

ASL Padova,

Università di Padova (Dipartimenti di Chimica e Ingegneria)

Universita' di Palermo (Dipartimento di Ing.Nucleare)

LASA (Milano).

SPES PAVIA

Laboratorio di Spettroscopia Laser (prof. Piero Benetti):

Alessandra Tomaselli	ric. DIII: responsabile attività laser (70%)
Federico Pirzio	ric. DIII(20%)
Damiano Grassi	tecnico cat. D, Dip. Chimica (30%)
Scarpa Daniele	art. 23 LNL (20%)

NESSUN FINANZIAMENTO PER IL 2014

NOVITA'

1. E' stata conclusa la gara laser
 2. E' arrivato il ciclotrone
 3. E' stato potenziato il laboratorio laser off-line,
ora completo con spettrometro TOF
1. Si sono eseguite misure sul Germanio
 2. Si è impostato il lavoro per il Tracking dei Laser
- Tesi di laurea di Martina Iannelli, Univ. Pavia

A unified model to determine the energy partitioning between target and plasma in nanosecond laser ablation of silicon

G. Galasso^{1,2,a}), M. Kaltenbacher¹, [A. Tomaselli³](#) and [D. Scarpa⁴](#)

Sottomesso ottobre 2014

J. Appl. Phys. 117, 123101 (2015); <http://dx.doi.org/10.1063/1.4915118>

Laser Ablation Characterization in Laboratori Nazionali di Legnaro

J PHYS CONF SER (2014) Volume 508

[Scarpa Daniele](#) Nicolosi PFranci [ATomaselli](#) A Manzolaro Mattia Corradetti Stefano

Vasquez J Rossignoli Massimo

Calderolla Michele Monetti Alberto Andrichetto Alberto Prete G

Photo-ionization of aluminum in a hot cavity for the selective production of exotic species project

REV SCI INSTRUM (2014) Volume 85

[Scarpa Daniele](#) Makhathini [LTomaselli AGrassi D](#) Corradetti Stefano Manzolaro

Mattia Vasquez J Calderolla Michele

Rossignoli Massimo Monetti Alberto Andrichetto Alberto Prete G

SPES: THE INFN EXOTIC BEAM ISOL FACILITY AT THE LNL AND ITS FIRST DAY SCIENTIFIC PROGRAM

ACTA PHYS POL B (2014) Volume 45 Pagine 491-502
Gramegna Fabiana Manzolaro Mattia Corradetti Stefano [Scarpa Daniele](#) Rossignoli
Massimo Monetti Alberto Lollo Michele
Calderolla Michele Andrichetto Alberto Zafiropoulos Demetre Sarchiapone Lucia
Benini Daniela Favaron Paolo
Brezzi Ettore Pegoraro Roberto Maniero Denis Rigato Marco Maggiore Mario
Lombardi Augusto Piazza Leandro Porcellato Anna Maria
Roncolato Carlo Bisoffi Giovanni Pisent Andrea Poggi Marco Giacchini Mauro Bassato
Giorgio Canella Stefania
Marchi Tommaso Calabretta Luciano

Research and development on materials for the SPES target

EPJ WEB CONF (2014) Volume 66
Corradetti Stefano Andrichetto Alberto Manzolaro Mattia [Scarpa Daniele](#) Vasquez J
Rossignoli Massimo Monetti Alberto
Calderolla Michele Prete G

The SPES radioactive ion beam project of INFN

J PHYS CONF SER (2014) Volume 527

Andrighetto Alberto Manzolaro Mattia Corradetti Stefano [Scarpa Daniele](#)

Rossignoli Massimo Monetti Alberto

Lollo Michele Calderolla Michele Zafiropoulos Demetre Sarchiapone Lucia Benini

Daniela Favaron Paolo Rigato Marco

Pegoraro Roberto Maniero Denis Comunian Michele Maggiore Mario Lombardi

Augusto Piazza Leandro Porcellato Anna Maria

Roncolato Carlo Bisoffi Giovanni Pisent Andrea Giacchini Mauro Bassato Giorgio

Canella Stefania Gramegna Fabiana

Mastinu Pierfrancesco Esposito Juan Zanella Silvia

ALPI Setup as the SPES Accelerator of Exotic Beams

EPJ WEB CONF (2014) Volume 66

Bisoffi Giovanni Bassato Giorgio Battistella Andrea Bermudez J Bortolato Damiano

Canella Stefania Chalykh B

Comunian Michele Facco Alberto Fagotti Enrico Galata A Giacchini Mauro

Gramegna Fabiana Lamy T Modanese Paolo

Palmieri Antonio Pengo Ruggero Pisent Andrea Poggi Marco Porcellato Anna

Maria Roncolato Carlo [Scarpa Daniele](#)



The SPES project at the INFN- Laboratori Nazionali di Legnaro

EPJ WEB CONF (2014) Volume 66

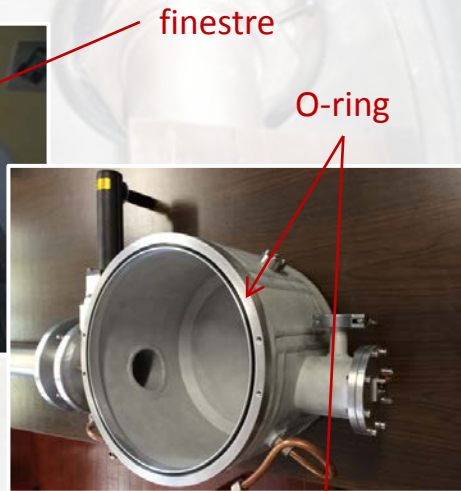
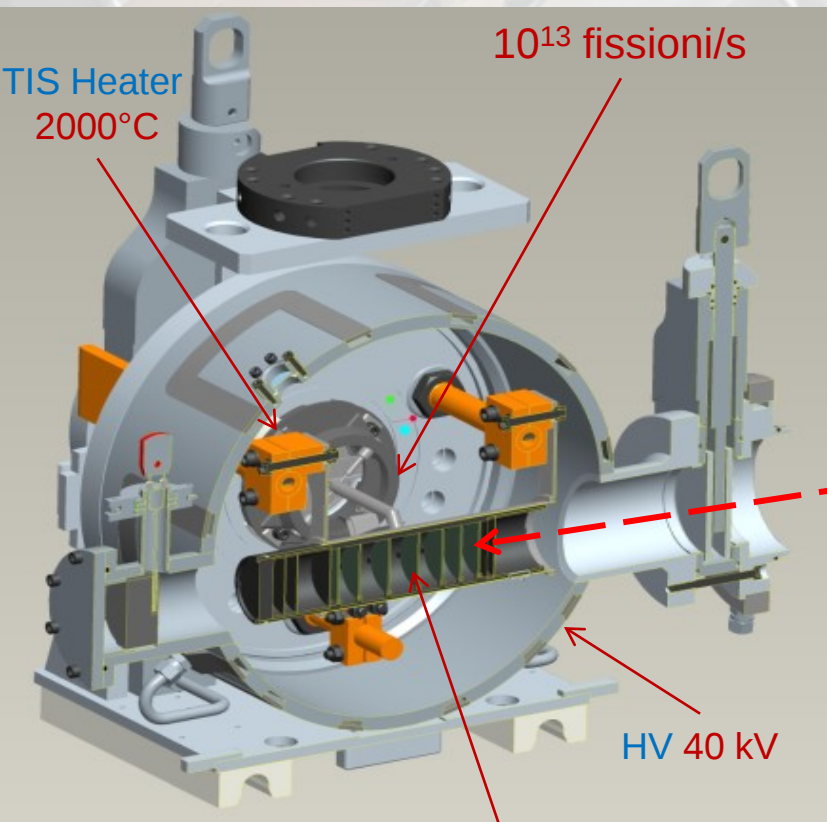
Andrighetto Alberto Manzolaro Mattia Corradetti Stefano [Scarpa Daniele](#) Rossignoli
Massimo Monetti Alberto
Lollo Michele Calderolla Michele Zafiropoulos Demetre Sarchiapone Lucia Benini
Daniela Favaron Paolo Rigato Marco
Pegoraro Roberto Maniero Denis Comunian Michele Maggiore Mario Lombardi
Augusto Piazza Leandro Porcellato Anna Maria
Roncolato Carlo Bisoffi Giovanni Pisent Andrea Giacchini Mauro Bassato Giorgio
Canella Stefania Gramegna Fabiana
Mastinu Pierfrancesco Esposito Juan Zanella Silvia

RDS_SPES (Sigla SPES_PV) Radiation Damage Study for SPES

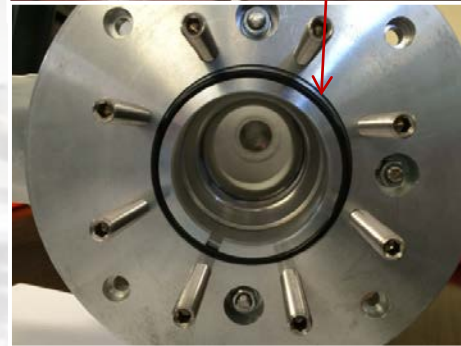
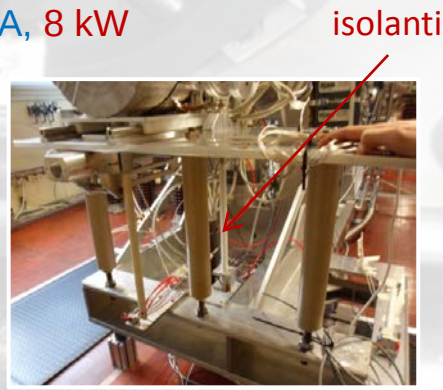
CONSUNTIVO ATTIVITA' 2014/15

A. Zenoni , M. Ferrari, F. Bignotti, A. Donzella, S. Pandini, A. Testa, UniBs/INSTM
D. Alloni, G. Magrotti, M. Prata, A. Salvini, LENA
A. Andrichetto, M. Manzolaro, A. Monetti, LNL

Test di radioresistenza di componenti critici del Target & Ion Source (TIS) di SPES



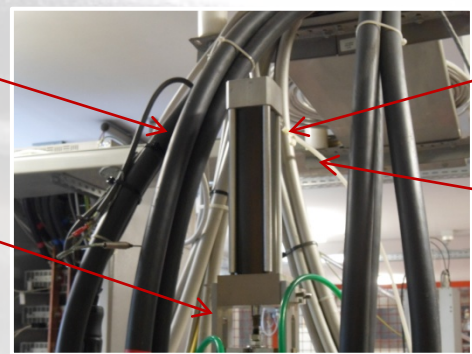
40 MeV protoni
200 μ A, 8 kW



Ambiente altamente radioattivo
intensi campi di neutroni e fotoni

isolanti di cavi

fibre
ottiche



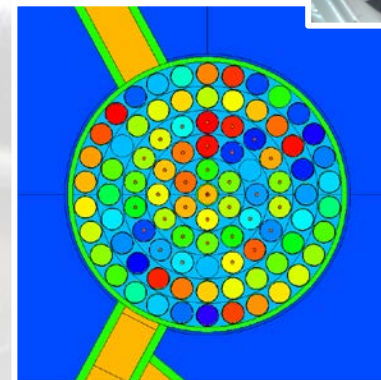
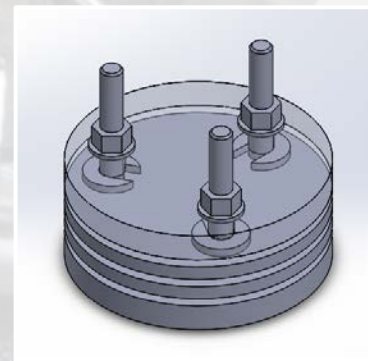
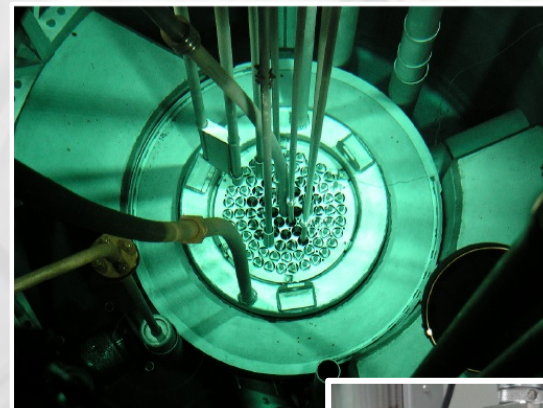
motori

tubi di
plastica

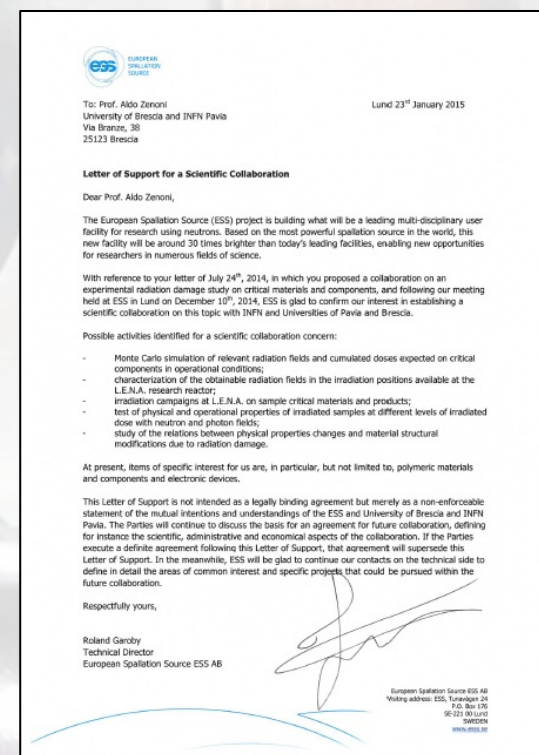
IRRAGGIAMENTI presso LENA
campi di neutroni e fotoni

TEST dei materiali presso
Laboratorio di Scienza e Tecnologia
dei Materiali **UniBs**

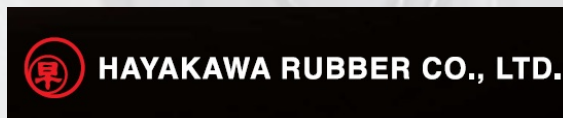
CALCOLO dei flussi e delle dosi
UniBs + Uni & INFN Pv + LENA



- 1) Estensione dell'attività a potenziali **partner internazionali** (ESS, iTHEMBA, ALTO Orsay, CERN; ecc.)
- 2) Definizione **protocollo** di irraggiamento e test di **O-ring** da vuoto (uno dei componenti più critici)
 - a) Ricerca di mercato di componenti con appropriate proprietà meccaniche e di radioresistenza
 - b) Studio dei campi neutronici e fotonici e dosi impartite nel TIS e al LENA
 - c) Scelta delle grandezze meccaniche e fisiche dei materiali da sottoporre a test
 - d) Definizione delle procedure di test dei materiali
 - e) Test di attivazione di materiali al LENA
 - f) Collaudo del protocollo di irraggiamento al LENA e test su campioni di O-ring in VITON
- 3) **Programmazione** attività di test su **O-ring da vuoto** di diversa composizione



Ricerca di mercato di O-ring da vuoto radioresistenti

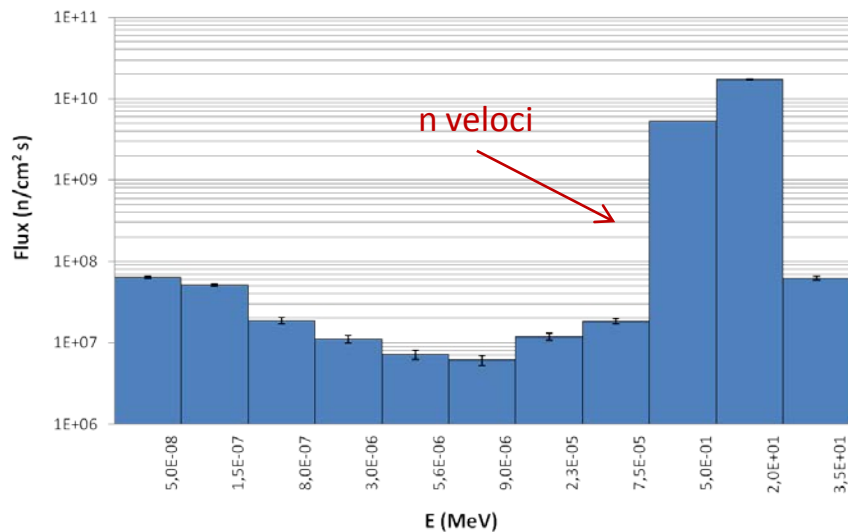


- Il panorama delle Ditte venditrici/produttrici e delle tipologie di componenti elastomerici è **sterminato**
- Sono state selezionate Ditte che commercializzano **O-ring** da vuoto dichiarando la **composizione** e la **radioresistenza** del prodotto (spesso incomplete o generiche)
- La conoscenza della composizione è essenziale per il **calcolo della dose** impartita
- Sono stati individuati **prodotti specifici** con caratteristiche meccaniche adatte, rappresentativi di **categorie** di elastomeri: (FKM (Viton), EPDM, FVMQ, NBR)
- Grosse difficoltà nel **reperimento** dei campioni (contatti con le Aziende) e nel loro **acquisto** (MEPA e CONSIP)

Studio dei campi di neutroni e fotoni SPES-TIS e Canale Centrale LENA

SPES Target Ion Source

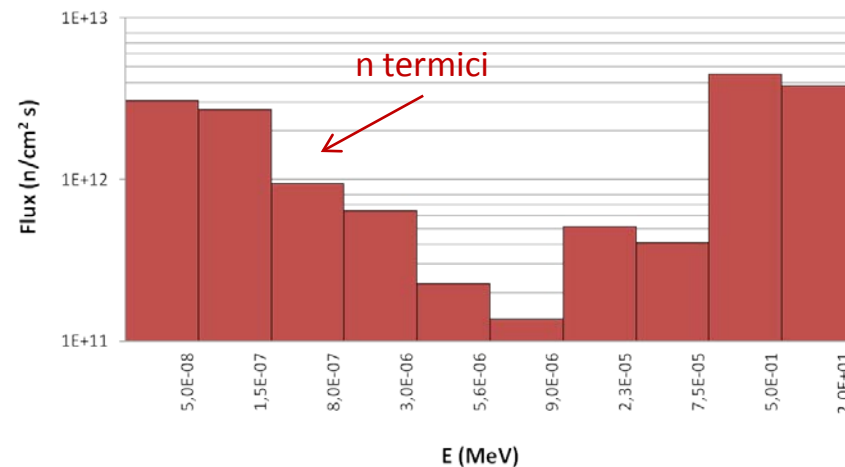
Neutron flux - SPES chamber o-ring



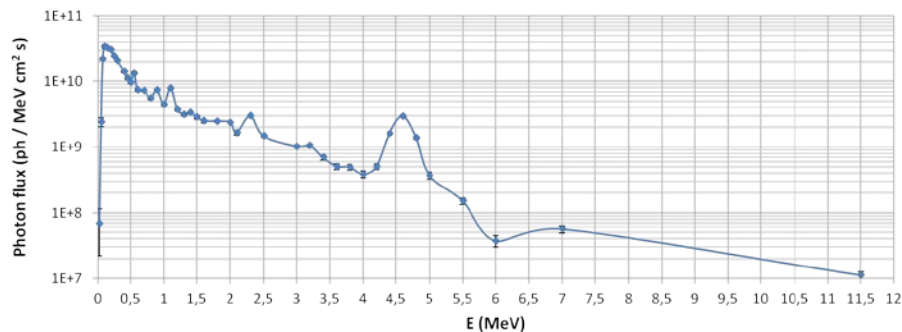
Central Thimble LENA

(0.0-0.05-0.15-0.8-3.0-5.6-9.0-23-75 eV -0.5-20-35 MeV)

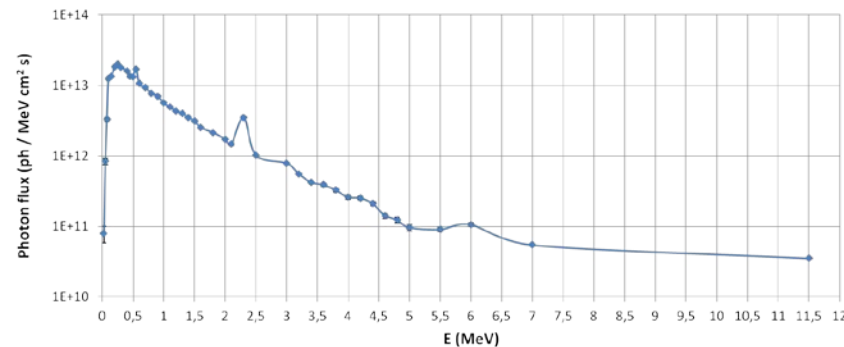
Neutron flux - LENA Central Thimble



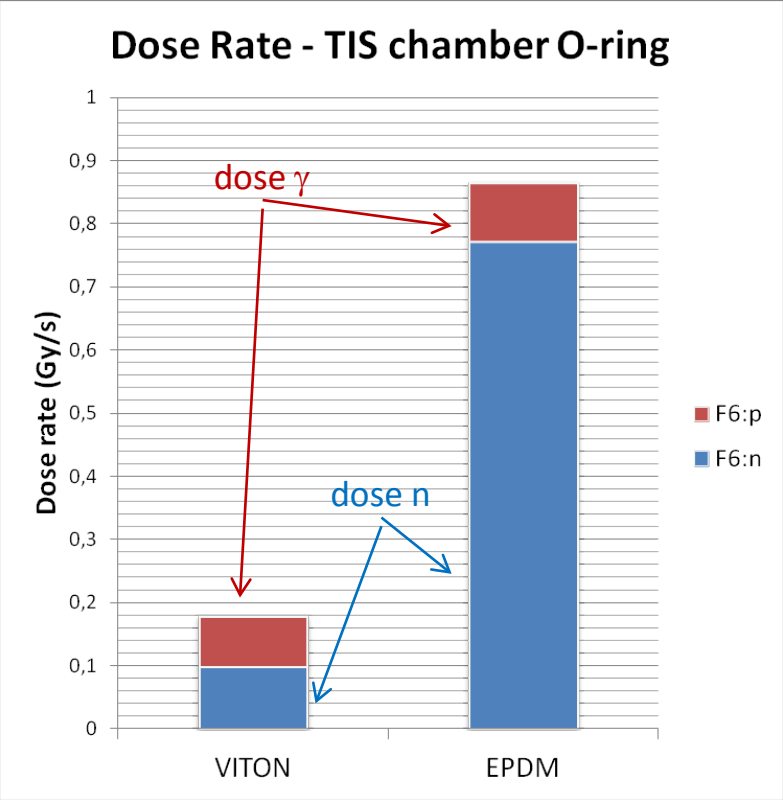
Photon flux - TIS chamber O-ring



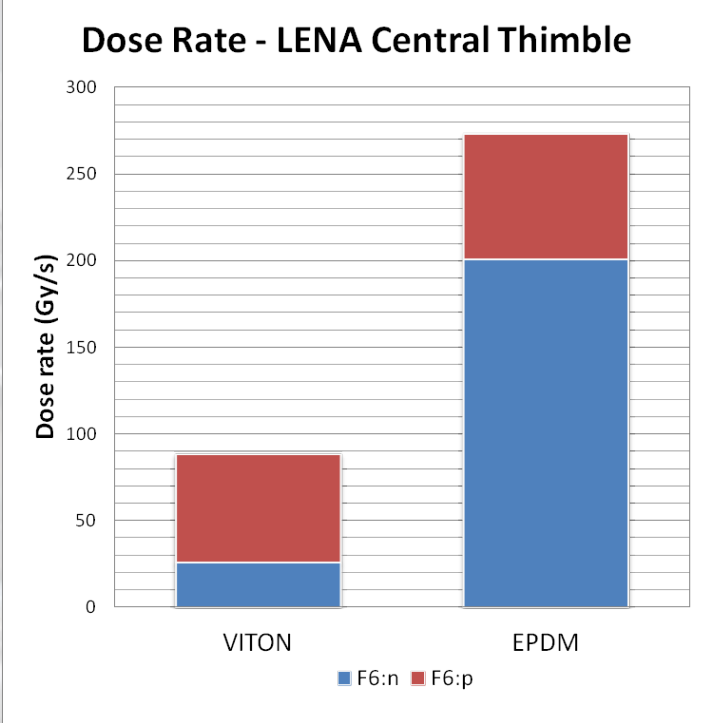
Photon flux - Central Thimble



Calcolo dosi impartite a campioni di VITON e EPDM



Il VITON è più trasparente ai neutroni



La dose n dipende dal contenuto di idrogeno

La dose n è maggiore per neutroni veloci

Dosi n + γ sul TIS integrate su 15 gg

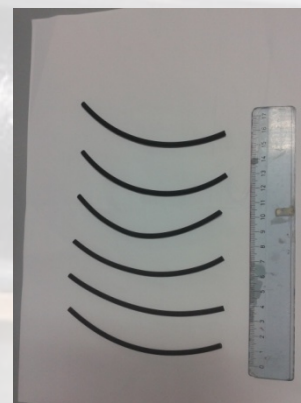
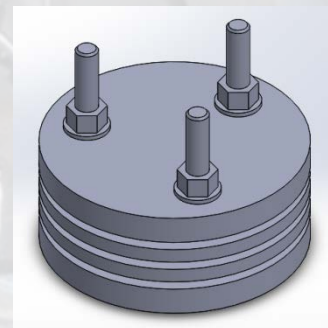
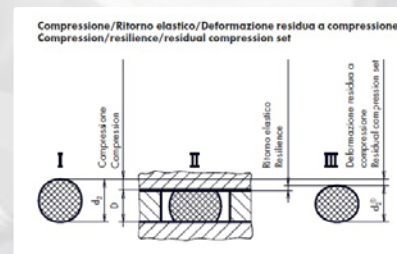
VITON	0.24 MGy
EPDM	1.11 MGy

Tempo di irraggiamento nel Canale Centrale per impartire 1 MGy di dose n + γ

VITON	3 h 8 min
EPDM	1 h 1 min

Grandezze meccaniche da sottoporre a test (Norma ASTM D1414)

- 1) Compression set %
- 2) Allungamento a rottura %
(Elongation at break)
- 3) Modulo elastico MPa
(Elastic module)
- 4) Carico di rottura MPa
(Tensile strength)
- 5) Durezza Shore
(Hardness)



Test di irraggiamento di O-ring al CERN (Yellow Report CERN 82-10)

S

SEAL (O-ring)

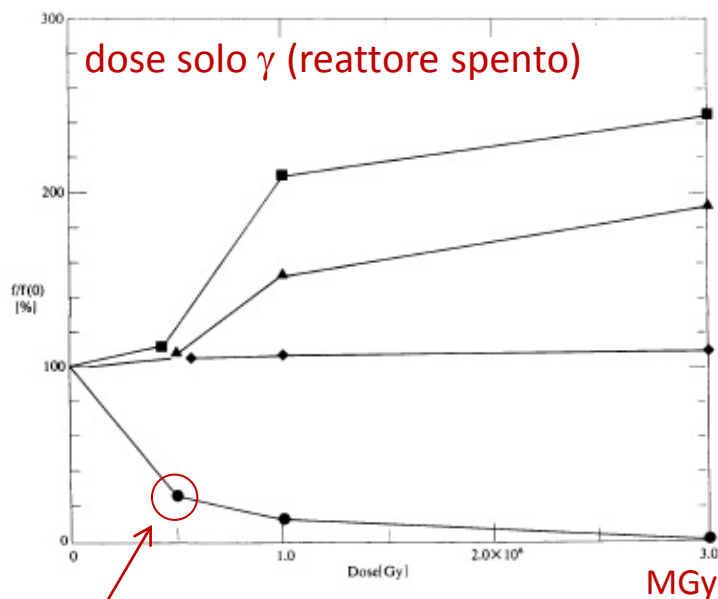
BASE MATERIAL: Fluorinated copolymer

TYPE: Viton E60C

SUPPLIER: Gummi Maag

IDENTIFICATION: 159.4-1973

O-ring VITON



SYMBOL	PROPERTY	INITIAL VALUES
●	elongation at break	201%
■	tensile strength	7.8 MPa
▲	hardness	44.5 Shore D
◆	compression set	- [%]
For ◆, y is not normalized to f(0)		

S

SEAL (O-ring)

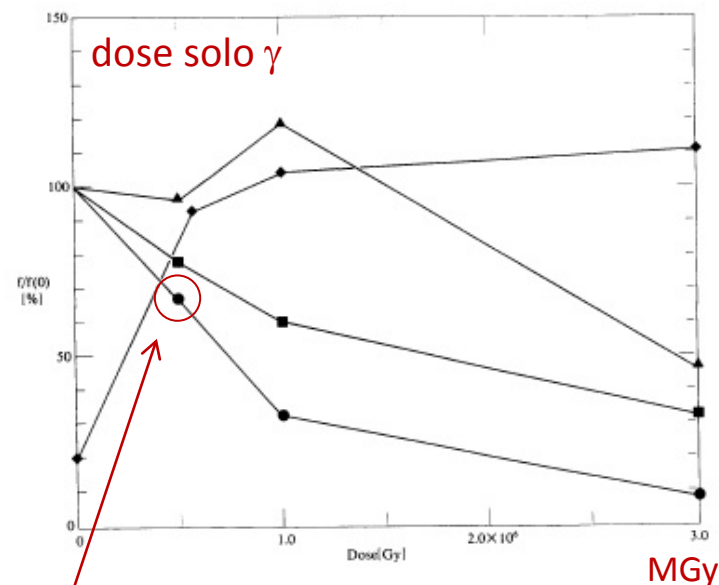
BASE MATERIAL: Ethylene-propylene rubber (EPR)

TYPE: KW 75

SUPPLIER: Angst & Pfister

IDENTIFICATION: 159.7-1973

O-ring EPR (EPDM)



SYMBOL	PROPERTY	INITIAL VALUES
●	elongation at break	202%
■	tensile strength	10.9 MPa
▲	hardness	32 Shore D
◆	compression set	(20)
For ▲, y is not normalized to f(0). The initial value given was measured under different conditions by manufacturer		

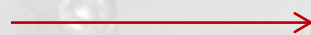
VITON - allungamento a rottura 25% a 0.5 MGy

EPR - allungamento a rottura 70% a 0.5 MGy

EPR/EPDM più radioresistente del VITON

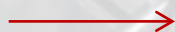
Test di attivazione di campioni di materiale costituente gli O-ring al LENA

VITON generico

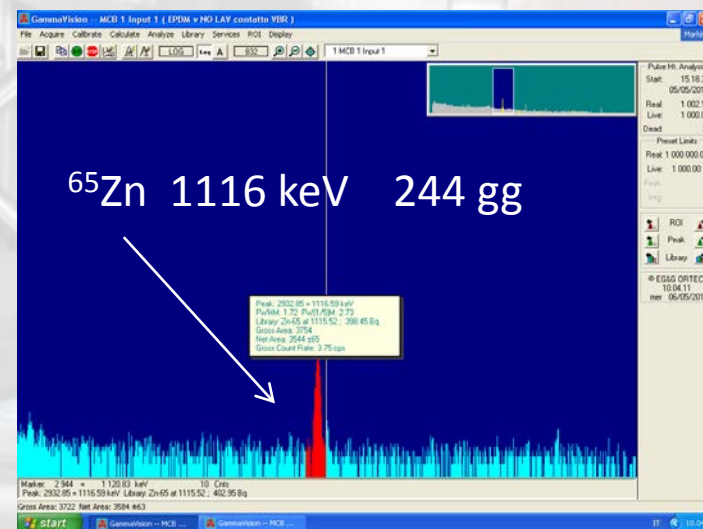


NESSUNA ATTIVAZIONE

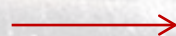
EPDM 70 (Dictomatick)
(vulcanizzato con Zolfo)



Lo Zinco è utilizzato come
accelerante della vulcanizzazione



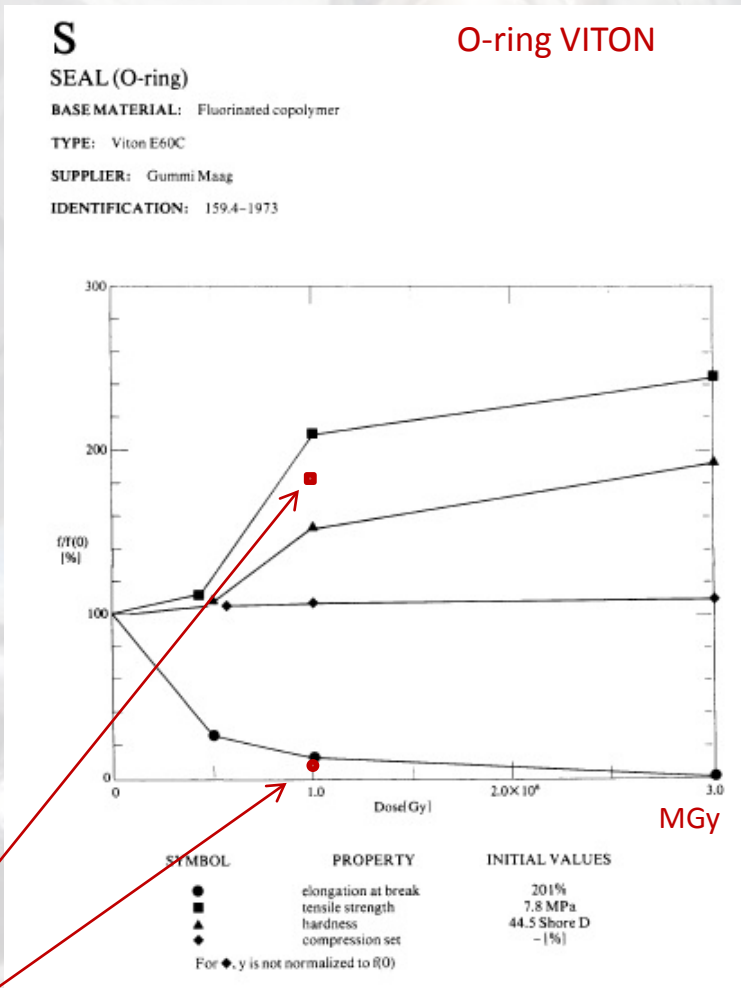
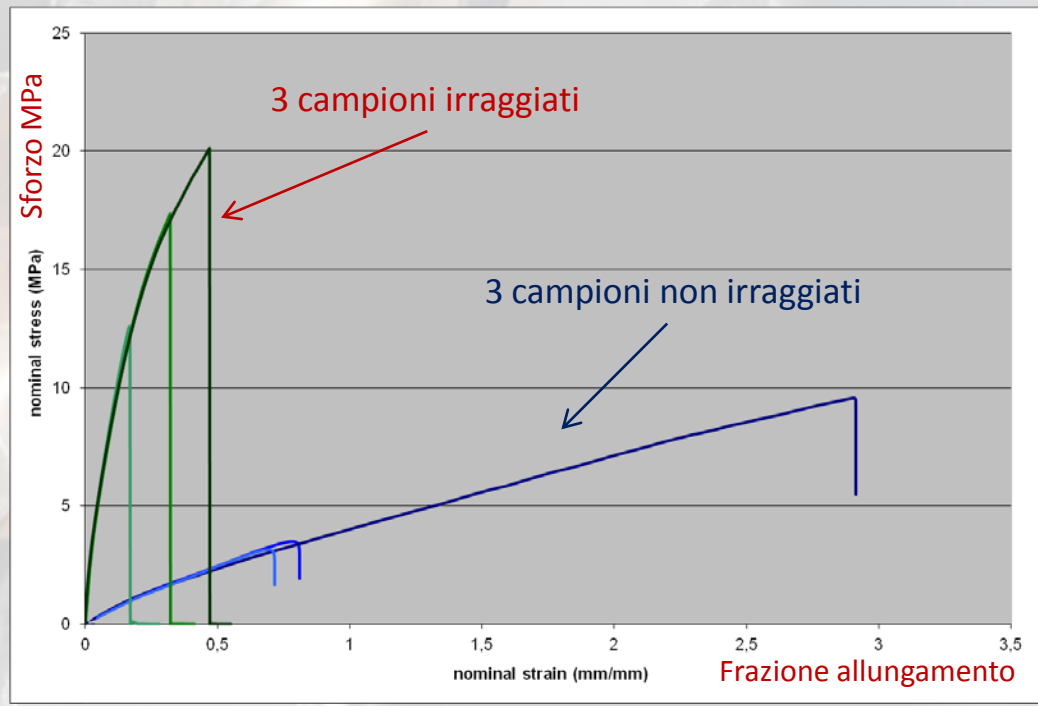
EPDM 70 Perox (Dictomatick)
(vulcanizzato con perossidi)



DA VERIFICARE

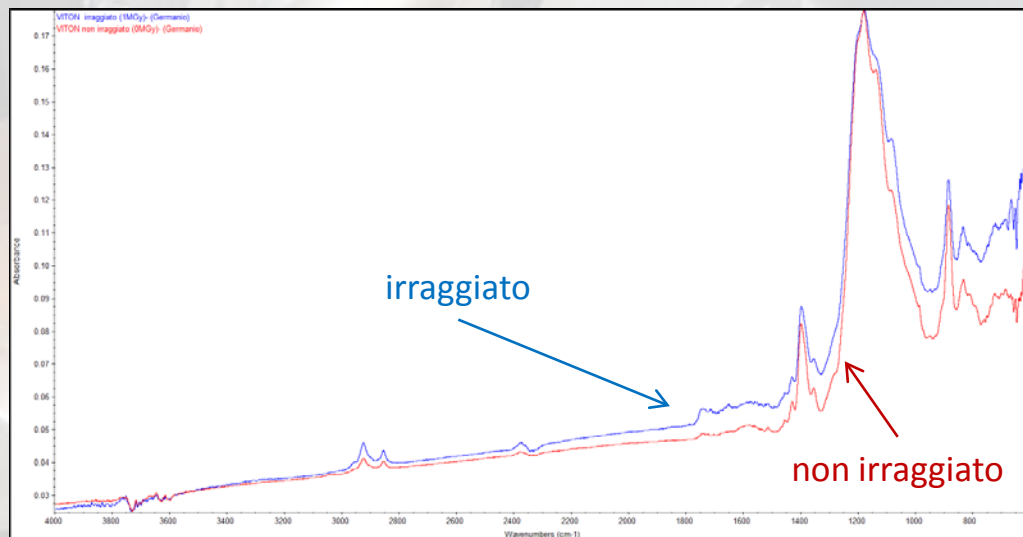
Un ampio programma di test di componenti critici necessita che
l'irraggiamento venga effettuato abbattendo lo spettro termico del LENA

Test proprietà meccaniche su O-ring VITON generico, irradiati a 1 MGy di dose



grandezza	Non irradiato	Irraggiato 1 MGy
Modulo elastico	6.2±0.4 MPa	170±40 MPa
Sforzo a rottura	9.5 MPa	17±4 MPa
Allungamento a rottura	290 %	32±15 %

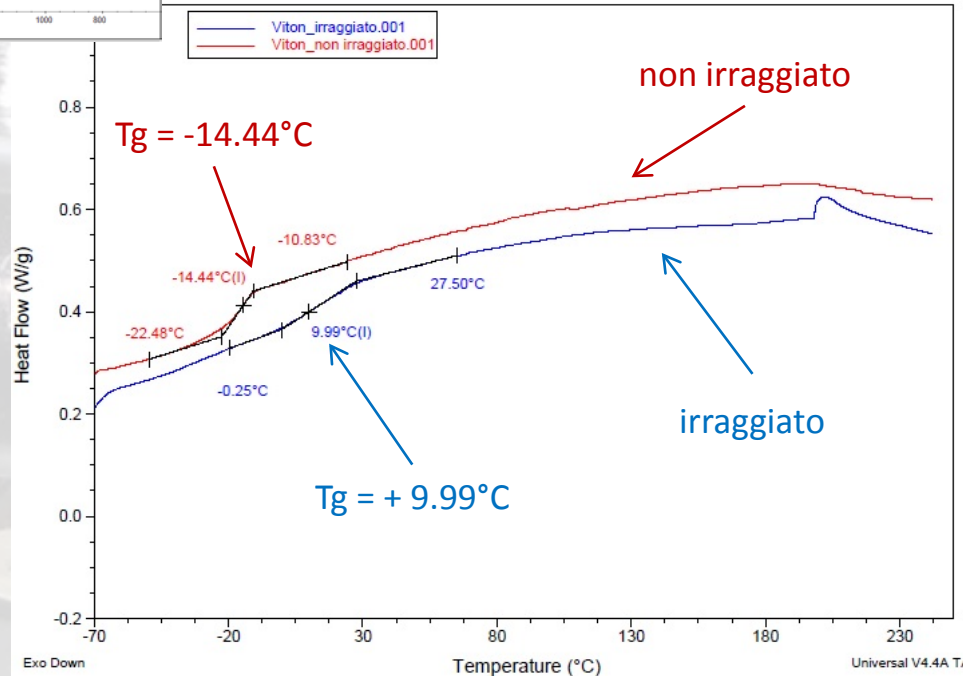
Test proprietà microscopiche su O-ring VITON generico, irradiati a 1 MGy di dose



Analisi infrarosso
composizione molecolare
piccole differenze

DSC calorimetro
differenziale

Cambia la temperatura di
transizione vetrosa
effetto di reticolazione



Programma di irraggiamenti e test di O-ring da vuoto da usare in SPES



- Irraggiamento e test **estensivi** a vari valori di dose impartita di **prodotti specifici** nelle categorie di elastomeri (FKM (Viton), EPDM, FVMQ, NBR)
- Studio possibilità di **abbattimento** componente **termica** dei flussi neutronici del LENA per riduzione dell'attivazione ed estensione dei materiali irraggiabili
- Studio della possibilità di irraggiamenti al LENA con dose solo di **gamma** per **confronto** degli effetti con dose neutroni + gamma
- Validazione calcolo dosi impartite su TIS/SPES con **FLUKA/GEANT4**

ARCO_FAST

Analysis of Reactor COre

Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

*(Progetto Speciale **INFN_E**)*

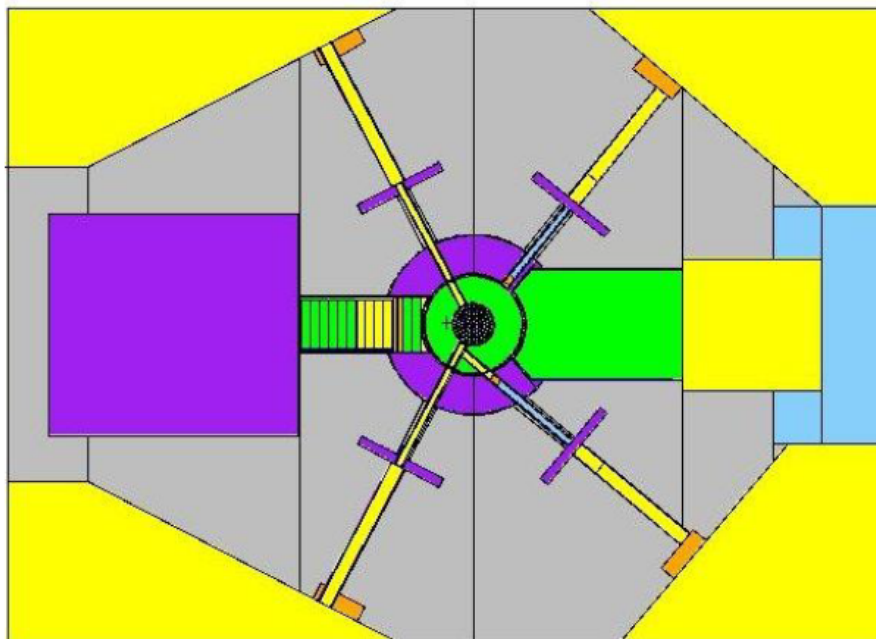


Michele PRATA (*Responsabile Locale*)
Consiglio di Sezione INFN – Pavia
12 giugno 2015

ARCO – FAST

Analysis of **Reactor Core** - Fast neutron Analysis with **Simulations and Tests**

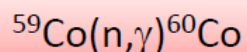
- **Studio sistematico della componente veloce del TRIGA nelle sue varie parti.**
 - Utilizzo di reazioni a soglia e modello Bayesiano di analisi
 - Mappa della componente termica e veloce in tutto il reattore
- **Individuazione di canali di irraggiamento veloci all'interno del reattore TRIGA.**
 - I canali penetranti del TRIGA Mark II giungono direttamente a ridosso del core
 - Si effettueranno misure sullo spettro veloce del TRIGA in questi canali
 - Progettazione e realizzazione di una facility a spettro neutronico duro nel TRIGA



Neutron Flux Distribution Measurement

IRRADIATED SAMPLES

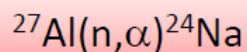
- Aluminum-cobalt wires (Al 99.9% - Co 0.1%)
- 1 mm in diameter
- Looped on the supporting rods.



No energy threshold



Measurement of the
integral flux.



~5 MeV threshold reaction



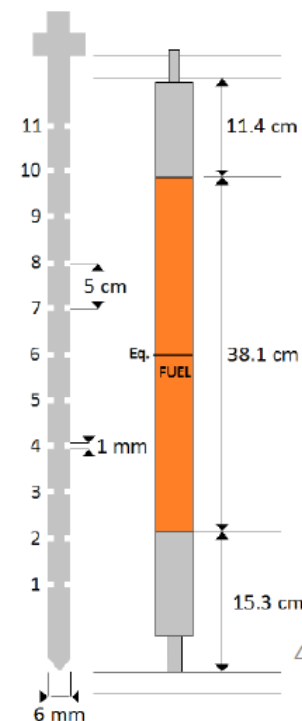
Measurement of the
fast flux.

^{60}Co β^- decay
($\tau_{1/2} \sim 5.27\text{y}$)

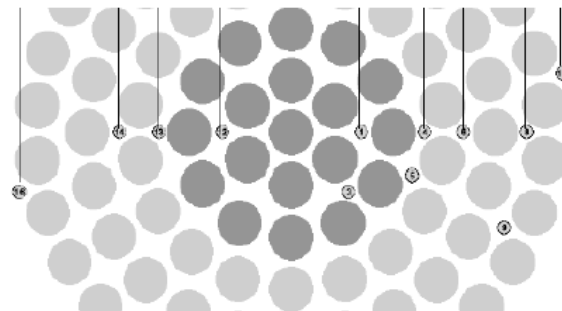
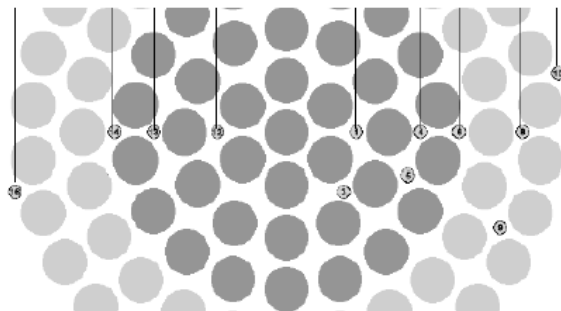
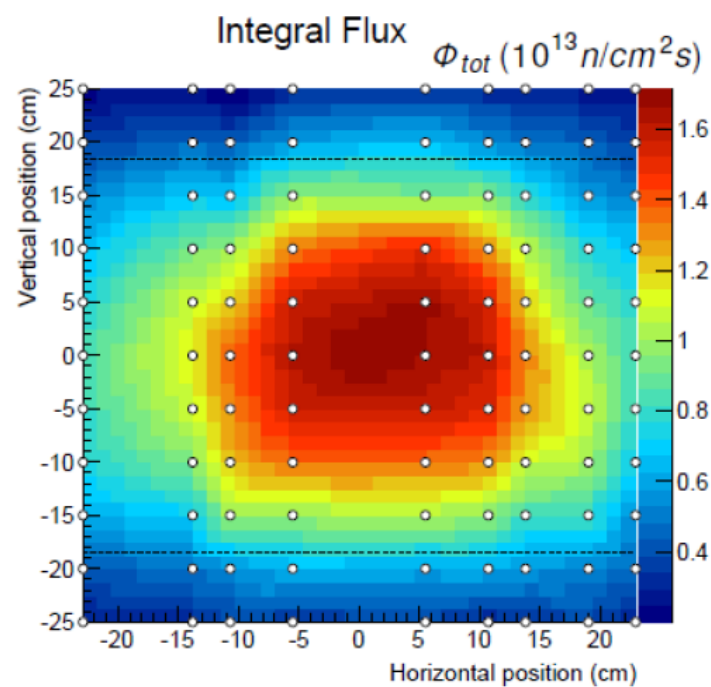
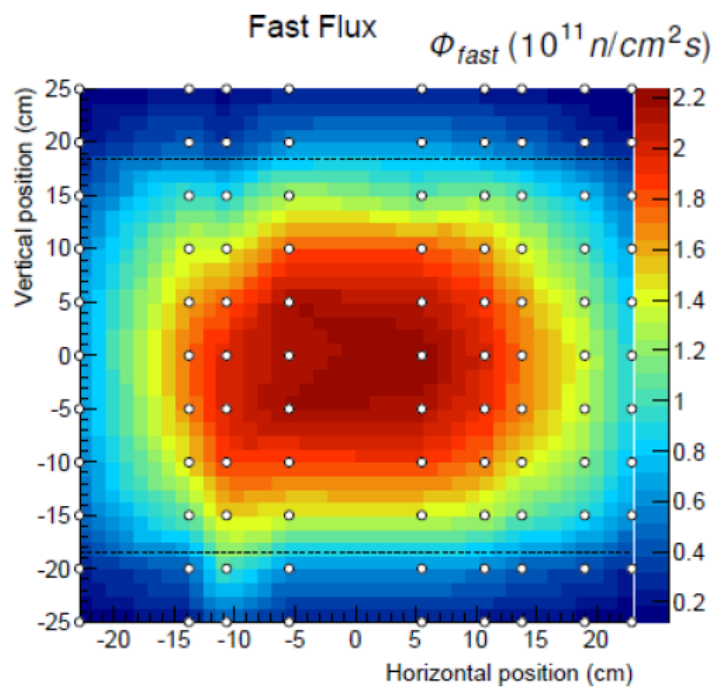
^{24}Na β^- decay
($\tau_{1/2} \sim 14.96\text{h}$)

SUPPORTING RODS

- Can be inserted among the fuel elements from the top grid holes in different core positions.

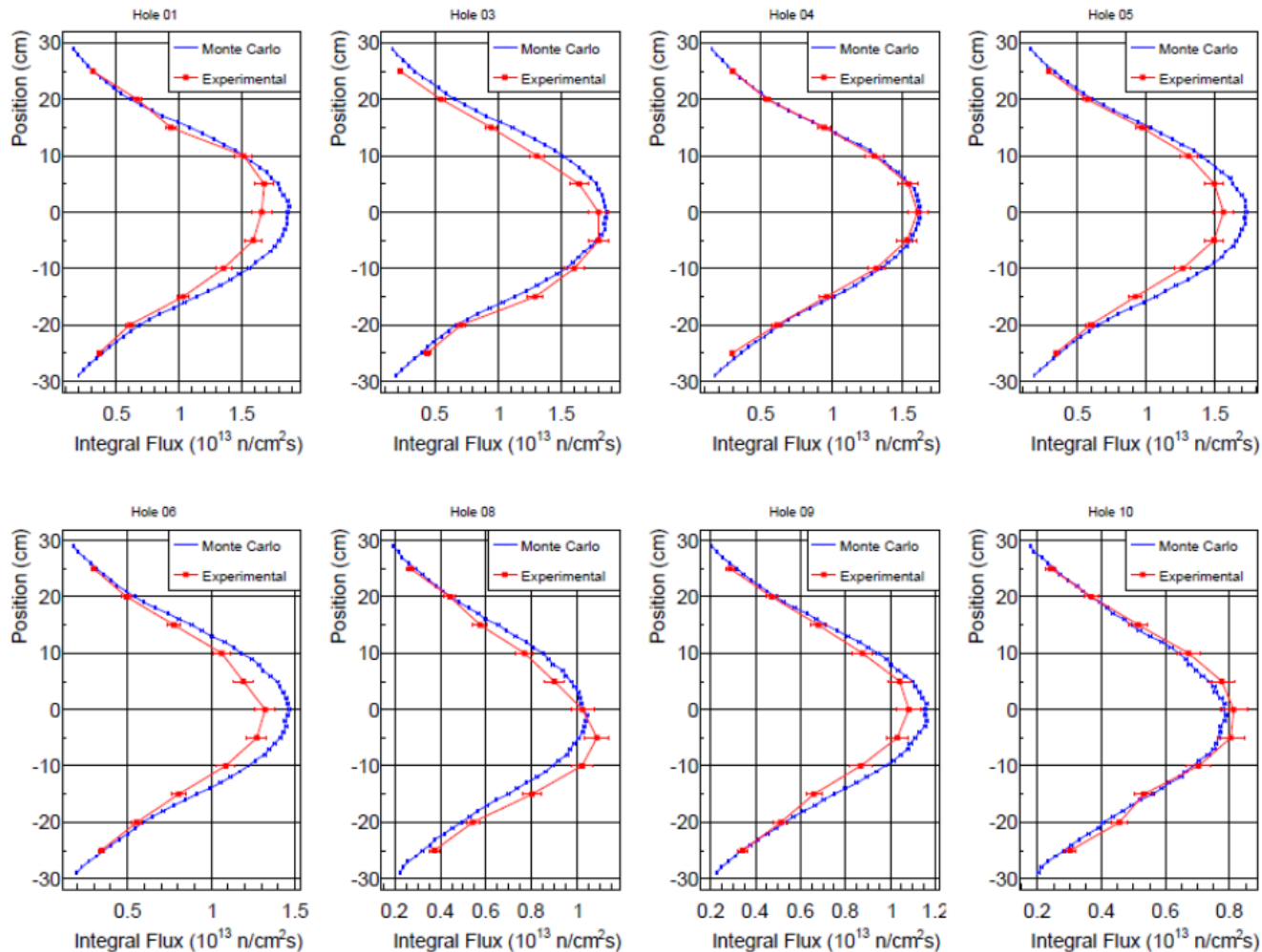


Results: 2D maps



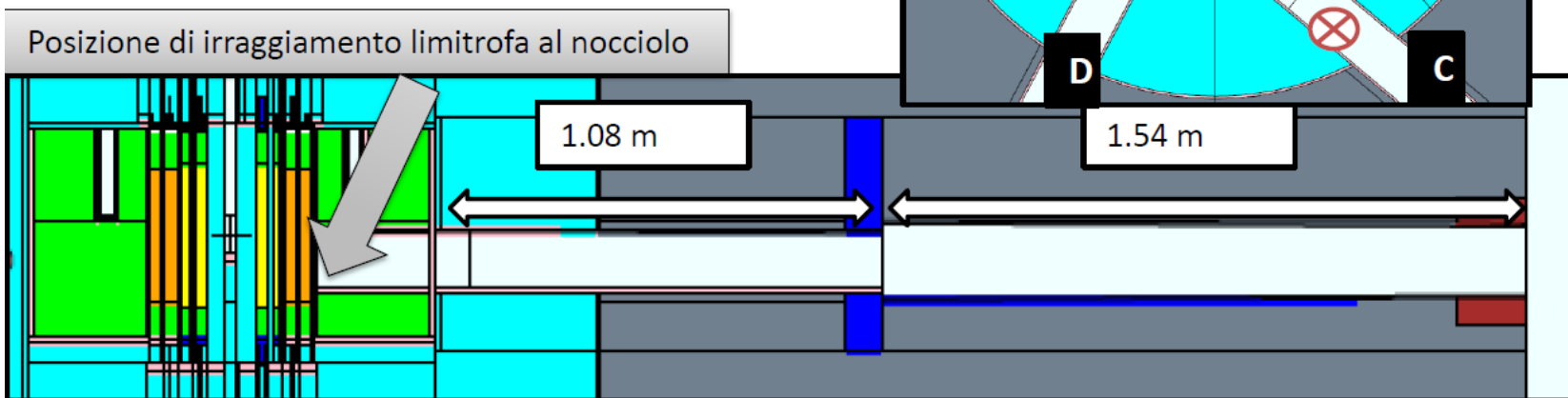
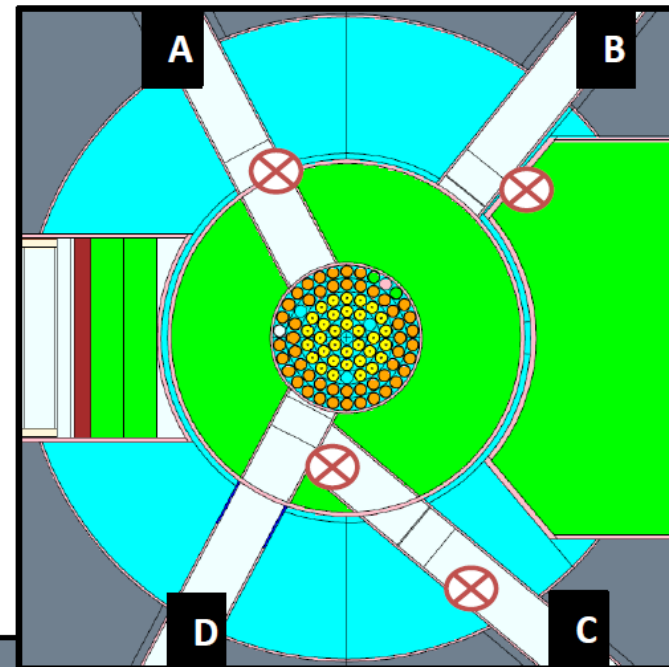
Benchmark analysis of the MCNP model

The Monte Carlo **integral fluxes** (normalized to 250kW power) are compared with the measured ones.



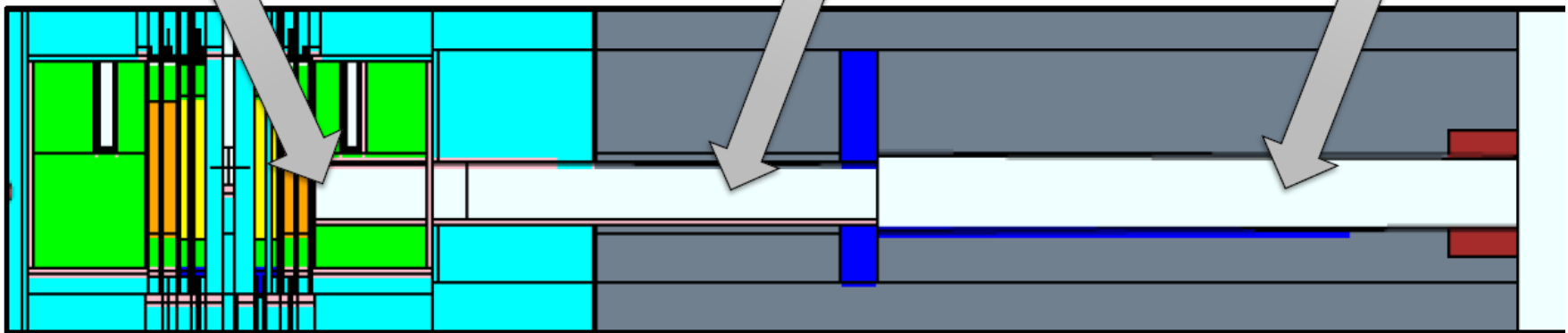
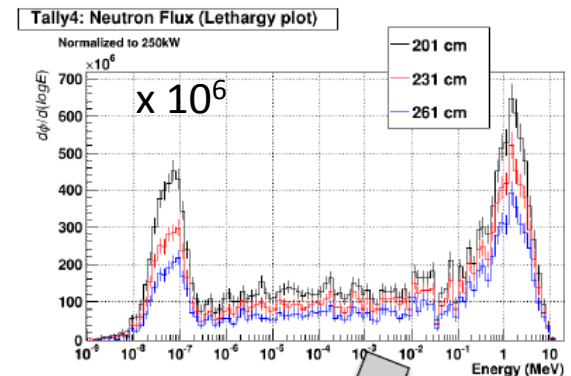
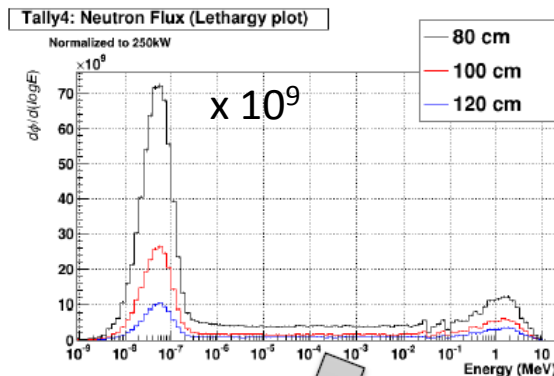
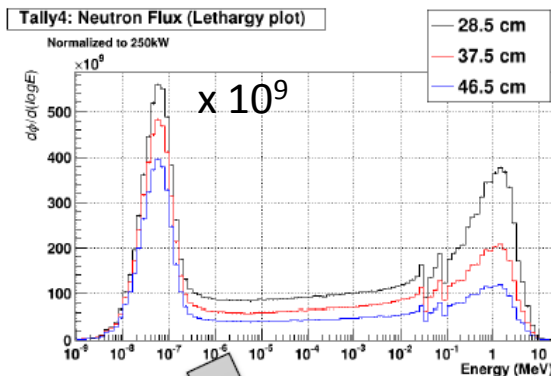
Il canale “penetrante” (D) come facility di irraggiamento con neutroni veloci

- Si tratta di un canale che offre la possibilità di accedere ad una posizione di irraggiamento limitrofa al nocciolo, dove si registrano flussi di neutroni veloci ($E_n > 0.1 \text{ MeV}$) dell'ordine di $10^{12} \text{ neutroni /cm}^2 \text{ s}$ (dato stimato con simulazioni MCNP)
- Questo canale è profondo circa 3 metri e attraversa la schermatura di calcestruzzo, la piscina d'acqua ed il riflettore in grafite.
- Attualmente non è provvisto di un sistema per l'inserimento di campioni da irraggiare.

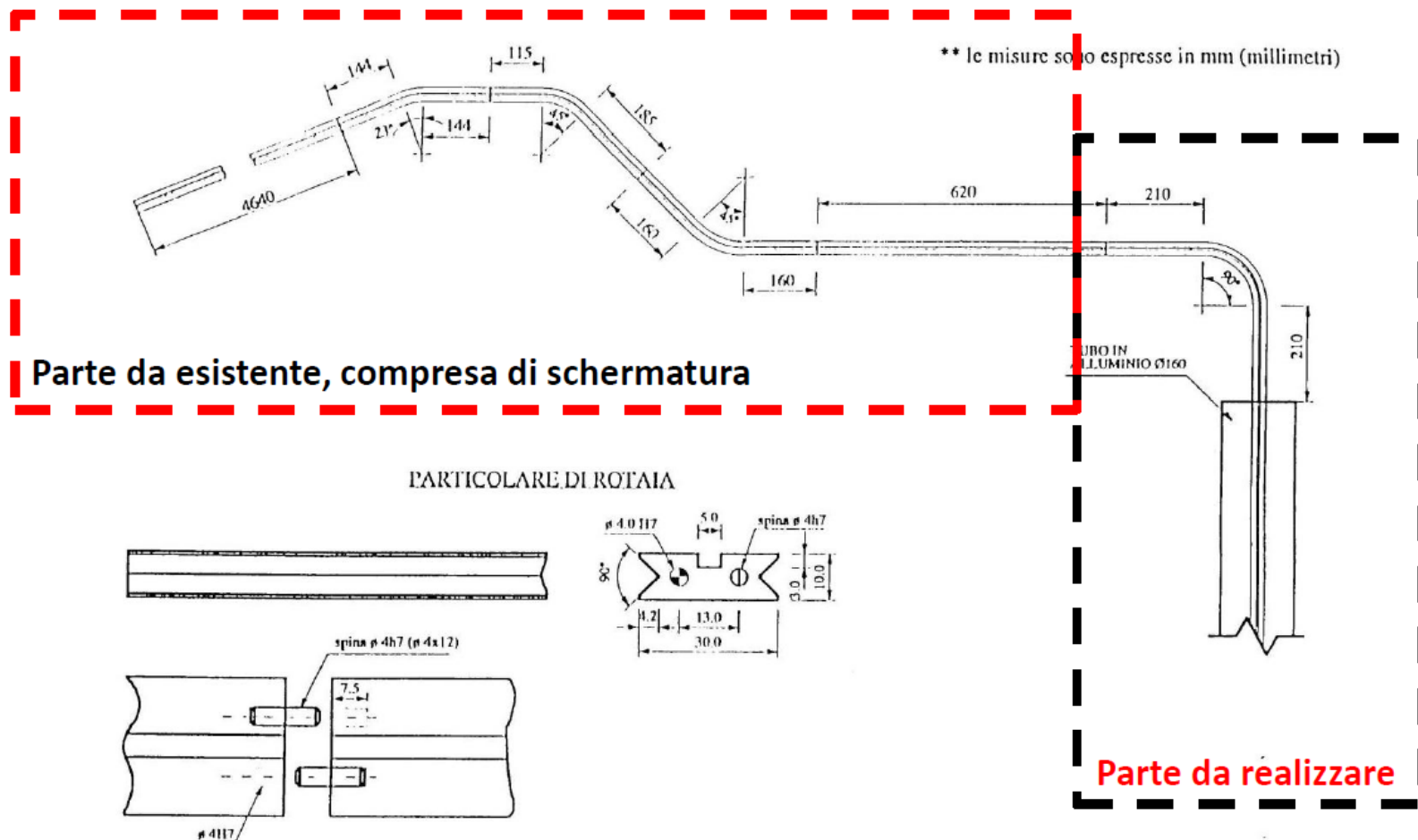


Caratterizzazione degli spettri neutronici all'interno del canale D

- Utilizzando il modello di simulazione MCNP, sono stati analizzati gli spettri neutronici in diverse posizioni lungo il canale D.



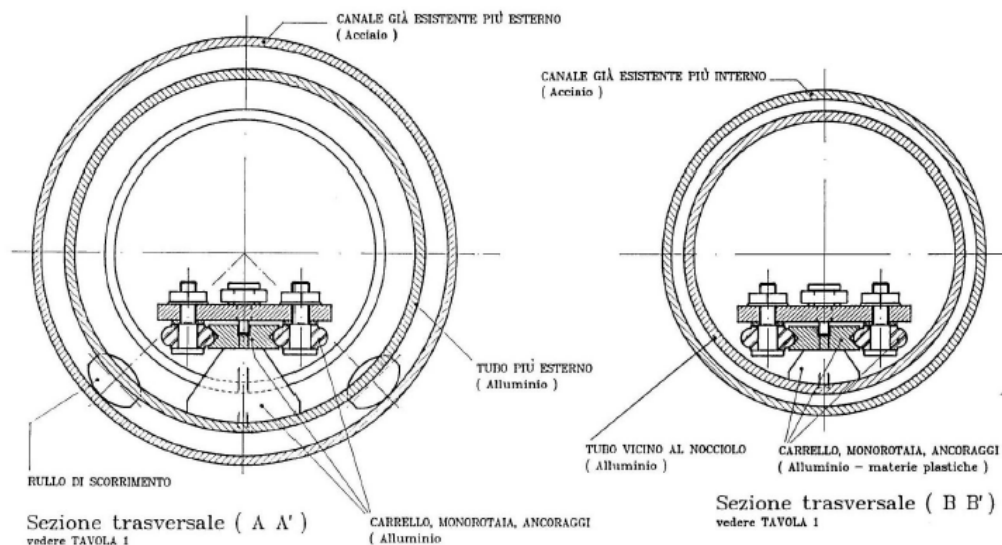
Possibile riconfigurazione del canale D per irraggiamento neutroni veloci



Possibile riconfigurazione del canale D per irraggiamento neutroni veloci

Strategia prevista per il nuovo canale D:

- Costruzione della rotaia di connessione del canale sulla base esistente
- Realizzazione di un trenino per il trasporto del materiale da irraggiare:
Trenino usa e getta costruito in ABS (per sfruttare stampante 3D)
Sistema di posizionamento inseribile e estraibile in forma continua
Selezione dei materiali a bassa attivazione per minimizzare tempi di estrazione
- Realizzazione di un filtro per tagliare la componente termica attorno al trenino
- Ottimizzazione di un sistema di estrazione rapida dei campioni post irraggiati



Validazione ABS per irraggiamento

Per valutare la reale attivazione dell'ABS:

- Test in Lazy Susan di vari campioni
- Stima dell'attivazione totale del materiale post irraggiamento
- Dimensionamento delle masse in gioco per realizzare il trenino

IRR. N. 11133 – 25/09/2014 – dalle ore 10:33 alle ore 11:33 – Totale LS 1h @ 250kW

LS – Pos 27

Flusso LS

Fluenza

Flusso Canale D – Zona 1 (vicino al nocciolo)

2.40 E+12 n cm⁻² s⁻¹

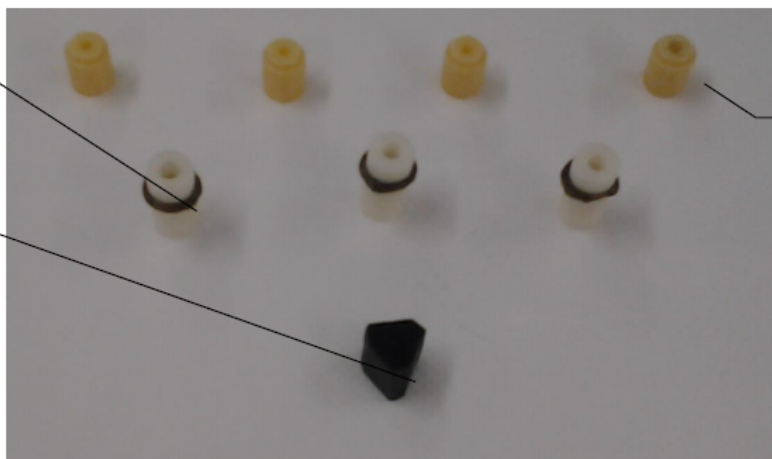
8.64 E+15 n cm⁻²

1.14 E+12 n cm⁻² s⁻¹



Campioni ABS
Bianchi
NON Irraggiati

Campioni ABS
Blu #1
(m=0.568 g
cad)
Irraggiato 10h
LS @250 kW



Campioni ABS
Bianchi #2 -> #5
(m=1.745 g
cad)
Irraggiati 10h LS
@250 kW

Radioattività indotta su ABS

Radionuclide	T1/2	T1/2	Attività a fine irraggiamento	Attività Specifica a fine irraggiamento
		min	Bq	Bq/g
Na-24	15 h	900	19504	44067
Cl-38	37 m	37	2458	5553
Mn-56	2.5 h	150	585	1322
K-42	12.3 h	738	1032	2333
Mg-27	9 m	9	6858	15495

- L'elemento più critico è sicuramente il Na-24
 Nelle plastiche e' abbastanza normale trovare del sodio
 Il tempo di dimezzamento è relativamente lungo
- La massa totale del trenino deve essere dell'ordine di 100 g
- Uno specifico metodo di estrazione dei campioni è necessario
- Il taglio della componente termica aiuterà a ridurre l'attività finale

In ogni caso l'ABS è sicuramente utilizzabile per la costruzione del trenino

Si è inoltre stimato che il trenino andrà sostituito ogni circa 100 h di irraggiamento

Componentistica per nuovo canale di irraggiamento D

Per ridurre i costi di realizzazione si lavorerà su una modifica del sistema esistente
Alcuni contributi in progettazione, realizzazione e materiali non saranno richiesti a INFN-E
In particolare le due sezioni contribuiranno con:

Milano Bicocca

- Progettazione e realizzazione nuova rotaia per carrello
- Realizzazione “ruote” trenino in Alluminio Nucleare
- Eventuali modifiche alla parte esistente per migliorare l’inserimento

Pavia

- Realizzazione trenino in ABS con stampante 3D
- Design e costruzione del “filtro” per neutroni termici
- Modifica della schermatura del canale D (probabilmente necessaria)
- Implementazione della metodologia di estrazione dei campioni

Sezione di Pavia:

LENA

Daniele Alloni
Giovanni Magrotti
Massimo Oddone
Michele Prata (RL)
Andrea Salvini
Lucilla Strada

2.3 FTE

Sezione di Milano Bicocca

Fisica

Davide Chiesa
Massimiliano Clemenza
Massimiliano Nastasi
Stefano Pozzi
Ezio Previtali (RN)
Monica Sisti (RL)

2.0 FTE

Politecnico

Antonio Cammi
Roberto Ponciroli
Andrea Prestigiacomo
Alberto Sartori
Matteo Zanetti

2.8 FTE

- Missioni 2.5 k€
- Consumabile 3.5 k€
- Materiale Inventariabile 4.0 k€
- Servizi 5.0 k€

D. Alloni, A. Borio di Tigliole, A. Cammi, D. Chiesa, M. Clemenza, G. Magrotti, L. Pattavina, S. Pozzi, M. Prata, E. Previtali, A. Salvini, A. Sartori, M. Sisti

Final characterization of the first critical configuration for the TRIGA Mark II reactor of the University of Pavia using the Monte Carlo code MCNP

Progress in Nuclear Energy 07/2014; **74**:129–135

D. Chiesa, M. Clemenza, M. Nastasi, S. Pozzi, E. Previtali, G. Scionti, M. Sisti, M. Prata, A. Salvini, A. Cammi

Measurement and simulation of the neutron flux distribution in the TRIGA Mark II reactor core

Submitted to Annals of Nuclear Energy (April 17th, 2015)

A. Cammi, M. Zanetti, D. Chiesa, M. Clemenza, S. Pozzi, E. Previtali, M. Sisti, G. Magrotti, M. Prata, A. Salvini

Characterization of the TRIGA Mark II reactor full-power steady state

Submitted to Nuclear Engineering and Design International Journal (March 3rd, 2015)

