# Consuntivi 2015 CSN5

# INFN – Pavia

### Consiglio di Sezione – 10 maggio 2016

# La CSN5 in numeri - 2015

- 87 sigle presentate
- 74 finanziate (64 nel 2014, 71 nel 2013, 80
- nel 2012, 90 nel 2011), di cui:
  - 62 ordinarie
  - 9 grant giovani (6 del 2015 e 3 del 2014)
  - 3 call, iniziate nel 2013. Nei preventivi 2015 erano state presentate 2 call, entrambe non finanziate

# Finanziamento CSN5 - 2015

CSN5 - Bilancio 2015					
Descrizione 🔽	Richieste 2015 💌	Finanziato 2015 🔽	Diff. rich - fin 2015 🛛 🔽	Finanziato 2014 🔄	Diff. Fin. 2015 - 2014 💌
Esperimenti	6558,0	3340,5	3217,5	3532,5	-192,0
Esp. su dot.	190,5	297,0	-106,5	15,0	282,0
Call	1754,0	767,0	987,0	609,5	157,5
Dotazioni	832,0	557,5	274,5	890,0	-332,5
Totali	9334,5	4962,0	4372,5	5047,0	-85,0
Anticipi		359,5		164,0	195,5
Finanziamento tot.		5321,5		5211,0	110,5

#### **Ripartizione per aree tematiche**



#### Ripartizione per capitoli di spesa

### Distribuzione afferenti nel 2015 - nazionale



Consiglio di Sezione - A. Lanza

### Distribuzione afferenti nel 2015 - Pavia

Pavia e' l'8<sup>a</sup> struttura per numero di afferenti al gruppo V (era 9<sup>a</sup> nel 2014, 7<sup>a</sup> nel 2013 e 5<sup>a</sup> nel 2012), la 4<sup>a</sup> per gli FTE (era 5<sup>a</sup> nel 2014, 5<sup>a</sup> nel 2013, 4<sup>a</sup> nel 2012)



#### Afferenti gruppo V Pavia - 2015

		• • • •				
Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona		
34	23	57	37,9	0,66		
Afferenti gruppo V Pavia - 2014						
Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona		
27	21	48	34,9	0,73		
Variazione - 2015/2014						
Ricercatori	Tecnologi	Totale	FTE	FTE/persona		
25,93%	9,52%	18,75%	8,60%	-8,92%		

### Distribuzione finanziamenti nel 2015 - Pavia

Consiglio di Sezione - A. Lanza

# Pavia e' la 12<sup>a</sup> struttura per assegnazioni (era 11<sup>a</sup> nel 2014, 9<sup>a</sup> nel 2013, 4<sup>a</sup> nel 2012)

#### Richieste Pavia/CSN5 - 2015

#### Dotazioni 2015 (inclusi 4k euro di Radiostem)

Capitolo 🔺	Descrizione •	Stanziato 🔹	Variato 🔹	Subjudice e Cong.	Impegni 🔹	Disponib. •	Proposta in corso	Disp. Teorica
<u>U102 121405</u>	MISSIONI NON SOGGETTE A	5.000,00	3.875,00	0,00	8.830,15	44,85	0,00	44,85
<u>U103 130120</u>	MATERIALE DI CONSUMO AT	4.000,00	3.400,00	0,00	7.228,18	171,82	0,00	171,82
<u>U103 139920</u>	ALTRI MATERIALI DI CONS 🖾	0,00	500,00	0,00	453,84	46,16	0,00	46,16
<u>U103 142310</u>	LICENZE SOFTWARE	0,00	1.100,00	0,00	439,20	660,80	0,00	660,80
Totale:		9.000,00	8.875,00	0,00	16.951,37	923,63	0,00	923,63

Gruppo V Pavia - Bilancio 2015 (k€)





				1		
	Descrizione 🖃	Richieste 🔽	Finanziato 🖃	Differenza		
	Esperimenti	475,0	166,5	-308,5		
	Esp. su dot.	0,0	0,0	0,0		
	Dotazioni	40,0	18,0	-22,0		
	Totali	515,0	184,5	-330,5		
		Variazio	one 2015/2014			
	Descrizione 🖵	Richieste 🖵	Finanziato 🖃	Differenza		
	Esperimenti	18,60%	-8,77%	41,51%		
	Esp. su dot.	0,00%	0,00%	0,00%		
	Dotazioni	-8,05%	5,88%	-16,98%		
	Variazione 2015/2013					
	Descrizione 🖃	Richieste 🔽	Finanziato 🖃	Differenza		
	Esperimenti	27,48%	1,22%	-48,25%		
	Esp. su dot.	-100,00%	-100,00%	100,00%		
Dotazioni		11,11%	-32,08%	-131,58%		
		Gruppo V Pavia e	CSN5 - Bilancio 2015	ō (k€)		
	Richieste Pavia	Richieste CSN5 🔽	Finanziato Pavia 🔽	Finanziato CSN5		
	515.0	9334.5	184.5	4962.0		

10 maggio 2016

<sup>6</sup> 

# Consuntivi 2015 – Gruppo V

#### **Esperimenti in sezione:**

- <u>APIX2 L. Ratti</u>
- <u>CALOCUBE P. W. Cattaneo</u>
- CHIPIX65 G. Traversi
- ETHICS F. Ballarini
- MC-INFN A. Fontana (Fluka), A. Rimoldi (Geant4)
- <u>MICE 2020 A. Debari</u>
- NETTUNO S. Bortolussi, S. Altieri\*
- <u>PIXFEL M. Manghisoni, L. Ratti\*</u>
- RADIOSTEM (su dotazioni) A. Ottolenghi (terminato)
- <u>REDSOX P. Malcovati</u> (terminato)
- <u>SCALTECH28 P. Malcovati</u>
- TECHN OSP A. Salvini
- INFN-E M. Prata (progetti speciali)
- <u>SPES A. Tomaselli A. Zenoni (progetti speciali)</u>
- IRPT V. Vercesi (progetti premiali)

•Responsabile nazionale

#### 12 iniziative di CSN5 (14 nel 2014, 14 nel nel 2013)

# APiX2 Development of an Avalanche Pixel Sensor for Tracking Applications

### Consuntivo scientifico 2015

### Sezione di Pavia

Resp. Naz.: Pier Simone Marrocchesi (PI)

Resp. Loc.: Lodovico Ratti

#### INFN Pavia, Consiglio di Sezione, 10 maggio 2016

### 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
- 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

### 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
- 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  $\rightarrow$  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/cm<sup>2</sup>
- 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 second year of the project, two parallel paths have been followed
  - Fabrication of chips for concept validation in the LFoundry 150 nm CMOS process (mainly TIFPA, PD and PI)

- single layers (father and son) already tested: DCR, optical cross- talk, breakdown voltage

- vertically integrated structures currently under test

• Test of a SPAD chip in XFAB 180 nm CMOS process for automotive applications with high-voltage (up to 40 V) option (PV)

- design of an automatic measurement setup based on an ST32F051 micro-controller

- tests started on the packaged samples

### Test chip in XFAB technology

Large SPADs (200x 200, 100x100 um<sup>2</sup> for technology characterization (C-V measurements, breakdown voltage) SPAD array (17 strips, 18 SPADs each), different active area, three different kinds of frontend, active and passive quenching



Small SPADs (10x10, 20x20 um<sup>2</sup>) with simple resistive, passive quenching for direct characterization through external frontend circuits

Chip designed by Luca Lodola (Pavia)

Size: ~3x1.5 mm<sup>2</sup>

#### Array arrangement

- 18x17 cells, each cell 100 um x 50 um in area (half for the SPAD, half for the FE electronics)
- Each cell can be 1 individually enabled by loading a 2 configuration mask into a shift 3 register
- An external test 4 signal can be used to test the FE electronics





### SPAD used in the array



#### Front-end electronics



FE with passive quenching, 1 bit to set the monostable signal dutation, 2 or 8 ns

FE with active quenching, 1 bit to set the monostable signal dutation, 2 or 8 ns, 2 bits for SPAD-OFF time duration, 20, 30, 40, 50 ns, SPAD signal detected through an inverter





FE with active quenching, 1 bit to set the monostable signal dutation, 2 or 8 ns, 2 bits for SPAD-OFF time duration, 20, 30, 40, 50 ns, SPAD signal detected through a comparator

#### Test board

#### motherboard



#### daughterboard



#### Test board



SPAD bias

10 maggio 2016

monostable A. Lanza

### Preliminary measurements: DCR



Dark count rate as a function of the voltage at the SPAD cathode in cells with different active area and based on a passive quenching network

10 maggio 2016

#### Preliminary measurements: breakdown voltage



V<sub>BD</sub> distribution - average value=22.56 V, standard deviation=27
10 Mayrio 2016
Consiglio di Sezione - A. Lanza

#### **Publications**

 N. D'Ascenzo, P.S. Marrocchesi, C.S. Moon, F. Morsani, L. Ratti, V. Saveliev, A. Savoy Navarro and Q. Xie, "Silicon avalanche pixel sensor for high precision tracking", 2014 JINST 9 C03027, doi:10.1088/1748-0221/9/03/C03027.

#### Budget:

- -Travels 1.5k euro
- Consumable 2k euro
- Consumable s.j. 38k euro (not spent)



#### **Calibrazione CALOCUBE:**

Si sono presi in considerazione diversi possibili meccanismi di calibrazione del calorimetro, sia software utilizzando il taglio geomagnetico atteso come riferimento assoluto di energia, che hardware studiando la possibilita' di laser o LED.

La soluzione piu' interessante al momento e' apparsa quella con il LED e si sono studiate varie configurazioni.

#### LED:

Si propone di inserire una o piu' sorgenti LED da montare su una basetta da fissare direttamente sul cristallo. Sulla basetta saranno presenti uno o piu' driver di corrente per il pilotaggio dei suddetti LED.

Si tratta di sorgenti di luce di piccole dimensioni in versione SMD, similmente i driver di produzione SMD sono in versione SMD (cosi' pure tutti i componenti passivi) in modo da ridurre drasticamente gli ingombri.

Sono stati acquistati l'anno scorso le seguenti sorgenti LED:

•SMC680 emissione 680nm

Ed il seguente driver per Laser/LED (icHaus)

Le sorgenti LED sono state selezionate in quanto presentano rise e fall time particolarmente veloci (nominalmente 80nsec).

La notevole dinamica richiesta viene ottenuta mediante:

•modulazione della durata dell'impulso

•modulazione dell'ampiezza dell'impulso

•entrambe le modulazioni sfruttando le peculiarità del driver per led utilizzato Prime prove sono state effettuate con la sorgente a LED SMC680: si tratta di un LED che emette a 680nm +/- 20nm , con una potenza nominale di uscita di 3mW a 20mA di forward current. L'angolo totale di emissione della luce e' 130°. Il rise time nominale e' di 80ns, il misurato 40nsec.

Utilizzando il driver icHaus, sono state misurate in uscita dal LED potenze di 100uW andando ad un repetition rate di 10KHz ed una durata d'impulso di 500ns (rise/fall time misurato di 40ns). Il duty cycle e' 200, cosi' la potenza di picco e' stimata in

 $100uW \ge 200 = 20mW$  corrispondenti ad una energia per impulso pari a 10nJ (100uWx 1 sec/ 10kHz).

E' possibile aumentare o ridurre la width in modo da modificare la dinamica in maniera marcata ad esempio partendo da 5ns fino a 5 o 50us.

Ecco i primi risultati utilizzando i due canali di controllo del chip icHaus e modulando il numero di fotoni con la durata dell'impulso. Per ora l'impulso va da 500ns fino a 10ns. In questo caso, sfruttando la curva esponenziale di risposta del LED abbiamo un numero di fotoni per impulso che varia da 10^5 fino a piu' di 10^9.

Parliamo sempre di fotoni a 680nm. Ovvero abbiamo una dinamica di 10<sup>4</sup>. Qua di seguito la tabella (durata impulso in nsec e numero fotoni in milioni):

LED	680nm		
Pulse Duration [ns]	Number of Photon [x10^6] CH1	Number of Photon [x10^6] CH2	Number of Photon [x10^6] CH1 + CH2
500	363	715	1150
200	137	265	453
100	61	123	221
50	25	52	105
20	5.5	13	34
10	0.1	2.5	7.5

#### Ora usando il led a 720nm:

LED	720nm		
Pulse Duration [ns]	Number of Photon [x10^6] CH1	Number of Photon [x10^6] CH2	Number of Photon [x10^6] CH1 + CH2
500	11250	5130	17370
200	4248	2034	7038
100	2052	1001	3456
50	949	464	1710
20	315	150.3	598
10	120	38.7	212
5	12.6	1.26	31

#### Ora il led a 630:

LED	630nm		
Pulse Duration [ns]	Number of Photon [x10^6] CH1	Number of Photon [x10^6] CH2	Number of Photon [x10^6] CH1 + CH2
500	8332.0	3906.0	12931
200	3134.3	1552.9	5118.8
100	1489.9	726.08	2488.5
50	664.65	315.00	1176.5
20	201.60	87.255	368.55
10	64.575	16.695	125.84
5	4.4100	0.15750	14.017

#### Ora il led a 570nm:

LED	570nm		
Pulse Duration [ns]	Number of Photon [x10^6] CH1	Number of Photon [x10^6] CH2	Number of Photon [x10^6] CH1 + CH2
500	765	315	1248.3
200			497.33
100			228.00
50			98.753
20			26.790
10			6.5550
5			0.57000

#### Ora il led a 565nm:

LED	565nm		
Pulse Duration [ns]	Number of Photon [x10^6] CH1	Number of Photon [x10^6] CH2	Number of Photon [x10^6] CH1 + CH2
500	159.6	64	263.00
200			93.084
100			38.561
50			14.690
20			3.5312
10			0.56500
5			0.14125

Andando a 5us, l'andamento e' lineare e confido di ottenere 10^10 fotoni aumentando di un ordine di grandezza la dinamica (10^5). Ma qui bisogna sapere se la durata non e' eccessiva per l'integratore. Bisogna anche sapere quanti fotoni sono necessari come massimo.

Il discorso fin qui vale a 680nm.

Nell'altra direzione, si puo' passare a 9, 8, 7, 6, 5nsec; ma qui la cosa non e' lineare e quindi la luce potrebbe andare a zero.

Da verificare se e' possibile ridurre la corrente sul CH1 e portare quella su CH2 pari alla somma di quelle attuali su entrambi i canali. In questo caso la dinamica in alto non cambia, in basso si dovrebbe ottenere meno luce. Ma non penso che in questo modo si riesca ad ottenere piu' di tanto.

Per andare molto piu' giu' in intensita' luminosa, la soluzione potrebbe essere un LED meno efficiente (ne abbiamo acquistato qualcuno) ovvero un led che a parita' di corrente dia molto meno luce. Ne abbiamo anche qualcuno su lunghezza d'onda sul rosso.

#### Assegnazioni:

-Missioni 2k euro

- consumo 8k 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 2015**

INFN Pavia, Consiglio di Sezione, 10 maggio 2016

Consiglio di Sezione - A. Lanza

### Pavia Team

Name	Position	Commitment (2015)			
Valerio Re	Р. О.	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 TE	CNOLOGI	6 (1.2 FTE)			
PERSONALE FULL TIME EQUIVALENT		1.4			

## CHIPIX65: Project Outline

- INFN Call Project 2013
- Large community in INFN interested to CMOS 65nm for new generation of a pixel chip
- CHIPIX65 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, LE, 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 responsibles:
  - Radiation Hardness A. Paccagnella (PD)
  - Digital Electronics R. Beccherle (PI)
  - Analog Electronics A. Rivetti (TO)
  - Chip Integration V .Re (PV), V. Liberali (MI)

# CHIPIX65 prototypes

#### 2 miniasics have been fabricated and are now under characterization

Analog front-end for pixel readout Badgap reference voltage circuit





10 maggio 2016

Submitter in May 2015

Consiglio di Sezione - A. Lanza

Submitter in May 2015

## SLVS driver and Receiver

- CMOS to differential (SLVS) driver and differential (SLVS) to CMOS receiver have been designed for the RD53 collaboration.
- Chip fabricated in Q3 2015 and characterized in Q4 2015



- 1.2Gbps operation frequency
- Eye diagram measured at the input of the receiver





- 1.2Gbps operation frequency
- Eye diagram measured at the output of a CML output buffer

### Bandgap Voltage Reference Circuit

- A bandgap voltage reference circuit for the RD53 collaboration has been deigned and its second version has been fabricated in Q3 2015
- Characterized in a climatic chamber at INFN Milano in Q4 2015
- The first version has been irradiated with 10MeV protons at the TANDEM accelerator (Legnaro)

Facility: TANDEM accelerator (Legnaro)

- Samples irradiated at room temperature
- Samples unbiased during irradiation



#### Output voltage vs Temperature







Output voltage vs Voltage supply

10 maggio 2016

# Analog front-end for pixel detector

An analog front-end has been developed and fabricated in a 65 nm CMOS technology for processing the signal from the inner pixel layers of the CMS detector, in view of the experiment upgrade for the HL-LHC



- Krummenacher feedback to comply with the expected large increase in the detector leakage current (up to ~10 nA)
- 30000 electron maximum input charge expected, ~450 mV preampli output dynamic range
- Selectable gain, recovery current and detector emulating capacitance
- 40 MHz clock, 5 bit dual edge counter, 400 ns maximum ToT

Samples have been exposed to 10 MeV protons at the SIRAD facility in Legnaro – 15 MV Tandem accelerator Irradiation steps:

- 300 Mrad 3 samples
- 500 Mrad 2 samples
- 800 Mrad 2 samples



Preampli output, feedback MOS capacitor, high and low gain and restoring current - high G, low IK for operation @5 bit/40 MHz (dual edge counter)



#### Measurements results



Equivalent noise charge as a function of the detector simulating capacitance for high and low gain and for high and low recovery current

> Increase in the slope compatible with an increase in the series noise contribution (likely in the flicker noise)
#### Conferences

1.L. Ratti et al., "An asynchronous front-end channel in 65 nm CMOS for pixel detectors at the HL-LHC experiment upgrades", presented at the **2015 IEEE Nuclear Science Symposium**, San Diego, USA, 31 October - 7 November 2015.

2.F. De Canio et al., "Characterization of bandgap reference circuits designed for high energy physics applications", presentato al **13<sup>th</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors**, La Biodola, Isola d'Elba (Italy), May 24 - 30, 2015.

3.L. Gaioni et al., "65 nm CMOS analog front-end for pixel detectors at the HL-LHC", presented at the TWEPP 2015 - Topical Workshop on Electronics for Particle Physics, 28 Sept. - 2 Oct., 2015.

#### Papers

1.G. Traversi et al., " Design of bandgap reference circuits in a 65 nm CMOS technology for HL-LHC applications", **JOURNAL OF INSTRUMENTATION**, 10 (2), 1- 9. doi: 10.1088/1748-0221/10/02/C02004.

#### Budget:

### - Consumable 2k euro

10 maggio 2016

top

Pre-clinical experimental and theoretical studies to improve treatment and protection by charged particles

> ETHICS (2015-17)





Sezioni <i>(Responsabili)</i>		FTE 2015	(FTE 2016)
NA (L.Manti, Responsabile nazionale)		3.3	4.6
Roma1-Gr.coll. Sanità (M.A. Tabocchini)		3.5	4.9
PV (F. Ballarini)		3.6	7.3
LNL (R. Cherubini)		2.0	1.6
AQ (L. Palladino)		2.2	1.7
<b>BO</b> (G. Castellani)		-	6.6
LNF (R. Amendola)		-	2.3
<b>LNS</b> (A. Scordino)		-	4.9
Totali		14.6	33.9
PAVIA:	2015	(2010	5)
F. Ballarini (resp. loc., RU)	60	100	
S. Altieri (PA)	-	30	
S. Bortolussi (Ric INFN)	-	30	
M. P. Carante (dott.)	100	100	
E Giroletti (RU)	40	70	
N Protti (ass.)	30	30	Assegnazioni 2015 PV:
S. Fatemi (dott.)	-	100	- Missioni 0.5k euro
A Facoetti (CNAO)	60	100	- Consumo 10 keuro
M Ciocca (CNAO)	20	20	(2016: 4 keuro cons. + 4 keuro
R Nano (PO)	50	50	missioni)
D. Dondi (RU)	-	100	,
totale	3.6	7.3	

10 maggio 2016

Consiglio di Sezione - A. Lanza

## Scopo generale e struttura del progetto

#### **Obiettivo generale:**

 caratterizzare, a livello di meccanismi biofisici, l'azione di particelle cariche usate in radioterapia (sia con fasci esterni (adroterapia) sia mediante irraggiamenti interni da radionuclidi (radioterapia metabolica)) su cellule sane in vitro e in vivo

#### Struttura:

 3 Work Packages, ciascuno con attività sia sperimentale sia modellistica: WP-1: terapia con fasci esterni (hadron therapy)
 WP-2: terapia con radioisotopi (targeted radionuclide therapy)
 WP-3: studi pre-clinici in vivo (small animal irradiation)

ogni WP è suddiviso in "task"; ogni task è dedicata a un organo caratterizzato da forti incertezze sulla risposta del tessuto sano: breast, pancreas e bone

Milestone PV 2015:

Modelization of clustered DNA damage following exposure to charged particles

*Milestones PV 2016:* 

- Modelling of cell killing by low-energy protons and low-energy electrons and radiobiological characterization of microbeams of 500 eV and 275 eV ultras-soft x-rays (PV, AQ-LNGS)
- Effects of charged particles on adhesion, motility and migration of pancreatic cells (PV, BO, LNL)

## Metodi - Assunzioni e parametri del modello BIANCA (Blophysical ANalysis of Cell death and chromosome Aberrations)

1) radiation induces DNA "Cluster Lesions" (CLs), and each CL produces two independent chromosome fragments

the mean number of CLs per Gy and per cell is the 1<sup>st</sup> adjustable parameter; it mainly dependends on radiation quality (=particle type and energy), but it is also modulated by the specific cell response

2) only chromosome fragments with (initial) distance smaller than a threshold *d* undergo end-joining, producing chromosome aberrations in case of end-joining with the incorrect partner or in case of unrejoining

in the model version used in 2015 ("BIANCA") d was the 2<sup>nd</sup>, and last, adjustable parameter, dependent on the target cell; in the current version ("BIANCA II"), d has been fixed



10 maggio 2016

#### Metodi - "zoom" sulla prima assunzione

1) radiation induces DNA "Cluster Lesions" (CLs), and each CL produces two *independent* chromosome fragments



Schipler and Iliakis 2013, Nuc Acids Res:

DNA double-strand breaks (DSBs) were classified according to six levels of complexity, from "clean DSBs" to "DSB clusters" . The latter were defined as "several DSBs in close proximity", which disrupting the chromatin fibre can lead to chromosome aberrations and cell death

However...how "close" these DSBs should be?

# Risultati – riproduzione di curve sperimentali di sopravvivenza cellulare per cellule radioresistenti V79 e radiosensibili AG1522 *(Carante et al. 2015 Rad Env Bio)*



Buon accordo tra simulazioni e dati sperimentali

*Parametro d*: 5 µm per tutte le curve; dopo averlo aggiustato per i fotoni, non è più stato variato

*Parametro Cluster Lesions:* nel range ~ 2÷18 CL/(Gy·Cellula); è stato aggiustato per ogni curva, poiché dipende dalla qualità della radiazione (=tipo di particella ed energia) e dal tipo di cellula

2

C 148

1

Fraction of surviving cells

0.1

0.01

0.001

0

C ions

V79

48.8

AG

3

79 C 13 slm

V79 C 13 data

AG Fe 300 data

75

6

13

Ris<u>ultati – dipendenza delle "Cluster Lesions" dalla</u> radiation quality (tipo di particella ed energia)



• for a given particle type, CLs increased with LET, consistent with the hypothesis that these lesions are a cluster damage (higher LET -> lower mean-free-path -> more DNA-damage clusters)

• for a given LET, lighter ions were more effective than heavier ions, consistent with the radiation trackstructure properties (lighter ions -> lower energy -> "thinner" track)

• for a given radiation quality, more CLs were used for AG cells than for V79 cells, consistent with the higher radiosensitivity of AG cells

10 maggio 2016

Risultati – caratterizzazione delle Cluster Lesions mediante confronto con yields di frammenti di DNA di diverse dimensioni le linee sono le Cluster Lesions del modello, i punti sono gli yields dei frammenti



L'andamento delle CL è più simile a quello dei frammenti di dimensioni ~kbp  $\Rightarrow$  (anche) questi frammenti giocano un ruolo importante nell'induzione di morte cellulare e altri effetti: «how close these DSB shoould be ?» Maybe  $\gamma_{k}$  or  $\gamma_{k}$  Consiglio di Sezione - A. Lanza 46

### Anteprima risultati 2016:

*Milestone modellistica ("modelling of cell killing by low-energy protons and low-energy electrons, and radiobiological characterization of microbeams of 500 eV and 275 eV ultras-soft x-rays"; PV, AQ-LNGS):* a new version of the model ("BIANCA II") was developed and applied to simulate cell killing by low-energy protons



Sopravvivenza di cellule AG esposte a 6 fasci di protoni, aventi LET nel range 1.1-22.6 keV/µm; linee=simulazioni, punti=dati sperimentali ottenuti a Catania con 6 diversi picchi di Bragg

 $\Rightarrow$  validazione della versione BIANCA II per raggi X e protoni, e quantificazione dell'incremento di efficacia biologica dei protoni di bassa energia

*Milestone sperimentale ("effects of charged particles on adhesion, motility and migration of pancreatic cells"; PV, BO, LNL):* the culture conditions for Aspc-1 pancreatic cells were set-up, and motility tests were performed following irradiation with C-ions and X-rays (as a reference); on cell migration, the experimental conditions were set-up and two complete experiments were performed with with C-ions (middle of SOBP, 0.5-4 Gy), as well as X-rays

10 maggio 2016

# Pubblicazioni 2015

#### Articoli

1. F. Ballarini, S. Altieri, S. Bortolussi, M.P. Carante, E. Giroletti, N. Protti (2015), *The role of DNA cluster damage and chromosome aberrations in radiation-induced cell killing: a theoretical approach.* Radiat Prot Dosim 166, 75-79, doi: 10.1093/rpd/ncv135

top

- 2. M.P. Carante, S. Altieri, S. Bortolussi, I. Postuma, N. Protti and F. Ballarini (2015), *Modelling radiation-induced cell death:* role of different levels of DNA damage clustering. Radiat Environ Biophys 54:305–316, doi: 10.1007/s00411-015-0601-x
- 3. M.P. Carante and F. Ballarini (2015), Modelling the induction of cell death and chromosome damage by therapeutic protons. Proc. 14th Int Conf Nuclear Reaction Mechanisms, Varenna (Italy), June 15th 19<sup>th</sup>, 2015, Edited by F. Cerutti, M. Chadwick, A. Ferrari, T. Kawano and P. Schoofs, CERN-Proceedings-2015-001, CERN, Geneva, 2015, pp 361-368 (ISBN 978-92-9083-418-2 (paperback); ISBN 978-92-9083-419-9 (PDF))

#### Presentazioni a congressi

- 1. <u>Mario Carante, Francesca Ballarini, A biophysical model of cell death based on DNA cluster lesions and chromosome</u> *aberrations.* 15th International Congress of Radiation Research, Kyoto, Japan, May 2015
- 2. <u>Testa A</u>, Patrono C, Monteiro Gil O, Giesen U, Langner F, F Ballarini, MP Carante, Palma V, M Pinto, Rabus H, *Alphaparticle microbeam irradiation: analysis of radiation-induced chromosome damage on a cell-by-cell basis within the BIOQUART project.* 15th Int Congress of Radiation Research, Kyoto, Japan, May 2015
- 3. <u>A Testa</u>, C Patrono, O Monteiro Gil, U Giesen, F Langner, F Ballarini, MP Carante, V Palma, M Pinto, H Rabus, *Detection of chromosome aberrations and micronuclei in CHO cells after alpha-particle microbeam irradiation within the BioQuaRT project.* 12th Int. Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response, Tsuruga, Fukui, Japan, 2015, 30 May -1 June
- 4. <u>F. Ballarini</u>, MP Carante, *BIANCA*, a model of radiation-induced cell death: biophysical mechanisms and possible applications for hadron therapy. 14th Int Conf Nuclear Reaction Mech, Varenna (Italy), June 15 19, 2015
- 5. <u>Mario P. Carante</u> and Francesca Ballarini, *Modeling chromosome aberrations and cell death by light ions: biophysical mechanisms and hadrontherapy applications.* 61st Annual Meeting of the Radiation Research Society, Weston, Florida, September 19-22, 2015.
- 6. <u>F. Ballarini, Modelling cell death and DNA/chromosome damage by ionizing radiation: implications on the mechanisms and applications for hadron therapy.</u> Seminar on Research Activities in Hadrontherapy, CNAO, Pavia, Italy, April 29, 2015 10 maggio 2016 Consiglio di Sezione - A. Lanza 48

# MC-INFN Attività 2015

#### A. Rimoldi, <u>A. Tamborini</u>, A.De Maggi

in collaborazione con: F. Murtas (INFN Frascati/CERN) , M. Silari, J. Leidner, S. George (CERN) A. Mirandola, M. Ciocca, M. Donetti (CNAO) Validazione del codice Geant4.10 patch-03 per fasci di ioni carbonio di energia compresa tra 115 MeV/u e 400 MeV/u:

- Valutazione delle FWHM (Full Width at Half Maximum) dei profili laterali dei fasci e rilascio di dose in profondità (picchi di Bragg).
- Valutazione omogeneità di campi a scansione simulati

Verifica di fattibilità del trattamento di tumori uveali con ioni carbonio.

Simulazione preliminare GEANT4 di un rivelatore GEM e relativo setup sperimentale

- Allestimento setup sperimentale
- Confronto della simulazione con dati sperimentali da misura di picco di Bragg in acqua → rivelatore GEM posizionato all'interno del fantoccio d'acqua (fascio di ioni carbonio di 3.98 GeV)

## Studi di Simulazione: FWHM (I)



FWHM di ioni carbonio, in aria, all'isocentro per differenti energie e diversi valori dello spread iniziale del fascio

(valore in corrispondenza della fine della linea di estrazione)

Consiglio di Sezione - A. Lanza

#### Confronto Geant4 & CNAO: beam spot FWHM

FWHM di protoni e ioni carbonio in aria, all'isocentro, per differenti energie misurata e simulata con film radiocromici EBT3 (spessore 228 um)



#### Confronto Geant4 & CNAO: picchi di Bragg in acqua



Energia depositata in un cubo di acqua 500 x 500 x 500 mm<sup>3</sup>,

all'iscocentro per diverse energie.

Le curve sono normalizzate alla dose depositata dal fascio con minore energia

(81.56 MeV per protoni e 115 MeV/u per ioni carbonio).

Per ioni carbonio sono stati aggiunti 2 ripple filters (ognuno di 2 mm di spessore).

## Risultati simulazione occhio: protoni

Scanning attivo 40 x 40 mm<sup>2</sup> Range shifter 43 mm per protoni 3.5\*10<sup>6</sup> eventi simulate Collimatore ottone: apertura 20 mm x 22 mm 6 energie SOBP (spessore 9 mm)





Percentuale di tessuti che assorbe 20 MeV o più:

-15 -10

- 100% del volume tumorale
- •70% del volume di Humor Vitreo
- Bassa percentuale di altri volumi di componenti

#### radiosensibili.

15

80 70

60 50

20

## Risultati simulazione occhio: ioni carbonio

Scanning attivo 40 x 40 mm<sup>2</sup>

Range shifter 20 mm

5\*10<sup>5</sup> eventi simulati

Collimaore ottone: apertura 20 mm x 22 mm 6 energie SOBP (spessore 9 mm)





Percentuale di tessuti che assorbono 7 MeV o più:

- •100% del volume <u>tumorale</u>
- •70% del volume di Humor Vitreo
- •Bassa percentuale di altri volume di componenti radiosensibili.

#### Simulazione GEANT4: *Riproduzione setup sperimentale*



#### Simulazione GEANT4: Studio dei secondari



## Risultati preliminari della misura @CNAO





Profilo temporale degli spill

Andamento temporale delle particelle erogate dal DDS. Punti blu GEMPix / punti rossi DDS (camera a ionizzazione)

#### Picco di Bragg



Sottostima della dose depositata nella coda di frammentazione → ulteriori indagini

- → Studio delle physics lists e dei processi di interazione in Geant4
- →Ulteriori test su fascio di caratterizzazione del GEMPix

# **Consuntivo 2015 MC-INFN (Fluka group)**

- 1. Studio di algoritmi per ottimizzazione di TPS in adroterapia
- 2.  $\alpha$ -A reaction cross section update
- 3. Utilizzo di FLUKA presso CNAO



# Studio di algoritmi per ottimizzazione di TPS in adroterapia

A. Rotondi, A. Fontana, V.E. Bellinzona, A. Embriaco

Si intende dare un **contributo** all'**ottimizzazione** degli attuali piani di trattamento mediante la implementazione di un data base e di tecniche di calcolo (Monte Carlo e analitiche) che descrivano il **profilo di dose fisica** (deviazione laterale, profondità e perdita di energia) in acqua e in diversi altri materiali biologici, sia per protoni sia per ioni carbonio alle energie di interesse per l'adroterapia.

L'ottimizzazione viene ottenuta attraverso il calcolo diretto (forward calculation) invece che con la tecnica inversa attualmente in uso (unfolding).

Questo richiede lo sviluppo di codici di calcolo, basati su metodi Monte Carlo (**FLUKA** come riferimento, ma anche MCNPX, GEANT4 e PHITS) e calcoli analitici, particolarmente veloci, eseguibili anche su processori grafici (GPU).

La ricerca è condotta in **collaborazione** con lo staff CNAO del gruppo di Fisica Medica (M. Ciocca, A. Mairani, G. Magro), con il gruppo di HIT/LMU (K. Parodi) e con il gruppo FLUKA di INFN/CERN (P. Sala, A. Ferrari).

#### Linee di ricerca:

- Studio parametrizzazioni alternative alla doppia gaussiana;
- Sviluppo di modello per il calcolo di profili laterali;
- Estensione del modello a un calcolo tridimensionale completo della dose fisica.

1.

## Studio parametrizzazioni alternative

V. E. Bellinzona et al., On the parametrization of lateral dose profiles in proton radiation therapy, Physica Medica 31 (2015) 484



10 maggio 2016

## Sviluppo di modello per profili laterali

V. E. Bellinzona et al., A model for the accurate computation of the lateral scattering of protons in water, Phys. Med. Biol. 61 (2016) N102



E = 158.8 MeV, z = 16.55 cm

## Sviluppo di modello per profili laterali

- Fattorizzazione della dose fisica in contributo laterale e longitudinale.
- Contributo laterale dato da 2 termini:
  - Elettromagnetico, basato sulla teoria completa di Molière dello scattering multiplo
     0 parametri liberi
  - Nucleare, basato su parametrizzazione Lorentz-Cauchy delle code 2 parametri liberi
- Contributo longitudinale dato da energy loss secondo formula di Bethe-Bloch, inclusi straggling e riduzione intensità per interazioni nucleari.

#### **Obiettivi**:

- Calcolo accurato e veloce della dose fisica in mesh 3D, confrontabile entro 1% con previsioni MC e dati sperimentali.
- Creazione di una **look-up table** per diversi fasci, energie e materiali per successiva interpolazione.
- Integrazione del modello laterale nel TPS di ricerca CERR, basato su Matlab e utilizzato a LMU: progetto PhD Elettra Bellinzona @HIT/LMU Munich (K. Parodi)
- Aggiunta RBE.
- Applicazione a diversi materiali e altri adroni.

#### Vantaggi:

- Semplicità
- Accuratezza
- Tempi di calcolo

10 maggio 2016

# Aggiornamento Sezioni d'urto di reazione $\alpha$ -nucleo

A. Ferrari, A. Fontana, A. Mairani

Barriera coulombiana troppo bassa per  $\alpha$  e altri ioni leggeri per reazioni su neclei medio-pesanti: sovrastima sezione d' urto sotto 15-25 MeV.



FIG. 2. (Color online) Reduced reaction cross sections  $\sigma_{red}$  versus reduced energy  $E_{red}$  for tightly bound  $\alpha$  particles and <sup>16</sup>O, weakly bound <sup>6,7,8</sup>Li projectiles, and exotic <sup>6</sup>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 <sup>16</sup>O (reddish) and <sup>7</sup>Li (green)

## Recente articolo di rassegna

#### A great resource!

#### Each nucleus described in details

#### Directly linked to the **EXFOR** database

Cross sections of  $\alpha$ -induced reactions for targets with masses  $A \approx 20 - 50$  at low energies

#### Peter Mohr<sup>1,2a</sup>

5

<sup>1</sup> Diakonie-Klinikum, D-74523 Schwäbisch Hall, Germany <sup>2</sup> Institute for Nuclear Research ATOMKI, H-4001 Debrecen, Hungary

dionuclide 44 Ti in core-collapse supernovae [7,8]. Beyond

stellar evolution and nucleosynthesis,  $\alpha$ -induced reactions

are also relevant for radionuclide production by energetic solar particles. It has been shown recently that  $\alpha$ -induced

reactions may significantly contribute to the production of

positron emitters [9], and the abundance of the radionu-

 <sup>2</sup> Institute for Nuclear Research ATOMKI, H-4001 Debrecen, F
 Received: date / Revised version: date
 Abstract. A simple reduction scheme using so-called in allows the comparison of heavy-ion induced reaction of and target and over a wide energy range. A global be whereas much larger reduced ross sections have been has been shown that this simple reduction scheme work that this simple reduction scheme work at the second distribution of the second distribution and the second distribution of the second distribution and the second distribution distribution and the second distribution distribut Abstract. A simple reduction scheme using so-called reduced energies  $E_{red}$  and reduced cross sections  $\sigma_{red}$ allows the comparison of heavy-ion induced reaction cross sections for a broad range of masses of projectile and target and over a wide energy range. A global behavior has been found for strongly bound projectiles whereas much larger reduced cross sections have been observed for weakly bound and halo projectiles. It has been shown that this simple reduction scheme works also well for  $\alpha$ -particle induced reactions on heavy target nuclei, but very recently significant deviations have been seen for  $\alpha + {}^{33}S$  and  $\alpha + {}^{23}Na$ . Motivated by these unexpected discrepancies, the present study analyses  $\alpha$ -induced reaction cross sections for targets with masses  $A \approx 20 - 50$ . The study shows that the experimental data for  $\alpha$ -induced reactions on nuclei with  $A \approx 20 - 50$  deviate slightly from the global behavior of reduced cross sections. However, in general the deviations evolve smoothly towards lower masses. The only significant outliers are the recent data for <sup>33</sup>S and <sup>23</sup>Na which are far above the general systematics, and some very old data may indicate that <sup>36</sup>Ar and <sup>40</sup>Ar are below the general trend. As expected, also the doubly-magic <sup>40</sup>Ca nucleus lies slightly below the results for its neighboring nuclei. Overall, the experimental data are nicely reproduced by a statistical model calculation utilizing the simple  $\alpha$ -nucleus potential by McFadden and Satchler. Simultaneously with the deviation of reduced cross sections  $\sigma_{red}$  from the general behavior, the outliers <sup>23</sup>Na, <sup>35</sup>S, <sup>36</sup>Ar, and <sup>40</sup> Ar also show significant disagreement between experiment and statistical model calculation.

PACS. 25.55.-e 3H-, 3He-, and 4He-induced reactions - 24.10.Pa Thermal and statistical models

clide <sup>36</sup>Cl may even be dominated by this scenario instead of stellar nucleosynthesis [10].

In addition to the astrophysical motivation,  $\alpha$ -induced reactions can also be used for analytical purposes. The thin-layer activation analysis technique has been suggested for the measurement of vanadium and chromium contents by  $(\alpha, X)$  reactions on <sup>nat</sup>V and <sup>nat</sup>Cr [11, 12]. The concentration of sulfur which is an important element for material deterioration can be measured using the  ${}^{32}S(\alpha,p){}^{35}Cl$ reaction [13]. At slightly higher energies  $\alpha$ -induced reactions are used for the production of important tracer elements. For biological and medical studies <sup>43</sup>K can be produced by  ${}^{40}Ar(\alpha_{\mathcal{P}}){}^{43}K$  [14], and  ${}^{30}P$  can be made from  $^{27}Al(\alpha,n)^{30}P$  [15]. The behavior of aluminum in bio- and eco-systems can be traced by <sup>29</sup>Al which is produced by the  ${}^{26}Mg(\alpha, p){}^{29}Al$  reaction [16].

For heavy nuclei it has been found that the total reaction cross section  $\sigma_{\text{reac}}$  follows a general trend in the mass range around  $A \approx 90 - 150$  [17, 18]. This trend becomes nicely visible when so-called reduced cross sections  $\sigma_{red}$ are plotted versus the reduced energy  $E_{rad}$  as suggested by [19]. However, very recently huge discrepancies have been found for the light nuclei <sup>23</sup>Na and <sup>23</sup>S where much \* Email: WidmaierMohr@t-online.de; mohr@atomki.mta.hu larger values for ored have been observed; a detailed disIt points out exp. issues

#### Different measurement techniques

#### Data not homogeneous

tant role in nuclear astrophysics. Stellar evolution and nucleosynthesis depend on the Maxwellian-averaged cross sections or reaction rates  $N_A(\sigma v)$ . Some prominent examples in the mass range under study are the  ${}^{18}Ne(\alpha,p){}^{21}Na$ reaction which is important for the break-out from hot CNO-cycles to the so-called rapid proton capture process (rp-process) [1,2], the  $^{22}$ Ne( $\alpha$ ,n) $^{25}$ Mg reaction which is an important neutron source in the slow neutron capture process (s-process) [3,4,5], the  ${}^{23}Na(\alpha,p){}^{26}Mg$  reaction which affects the production of galactic <sup>26</sup>Al [6], and the <sup>40</sup>Ca( $\alpha$ ,  $\gamma$ )<sup>44</sup>Ti and <sup>44</sup>Ti( $\alpha$ , p)<sup>47</sup>V reactions which govern the production and destruction of the tracer ra-

## **Richiamo teoria**

Sezione d'urto di reazione  $\sigma_r = \sigma_T - \sigma_{el}$ 

Modello di Bradt-Peters:

Valido solo per alte energie

Modello di Tripathi (NASA Report 1997): Valido anche a bassa energia Considera interazione coulombiana e interazioni nucleari

Energy dependence:

$$\delta_{E} = 1.85S + \left(0.16\frac{S}{E_{cm}^{-1/3}}\right) - C_{E} + 0.91\frac{(A_{T} - 2Z_{T})Z_{P}}{A_{T}A_{P}}$$

$$S = \frac{A_{P}^{1/3}A_{T}^{-1/3}}{A_{P}^{1/3} + A_{T}^{-1/3}} \qquad \text{Mass asymmetry}$$

$$P3 \qquad C_{E} = (1 - e^{-E/40}) - 0.292e^{-E/792} \times \cos(0.229E^{0.453}) \quad \text{Transparency}$$

$$D = 1.75\frac{\rho_{A_{P}} + \rho_{A_{T}}}{\rho_{A_{C}} + \rho_{A_{C}}}$$

# Tre parametri P1,P2,P3 per best fit modello su dati.

$$\sigma_{r} = \pi r_{0} \left( A_{P}^{1/3} + A_{T}^{1/3} - \delta \right)^{2}$$
  

$$\sigma_{r} = \pi r_{0} \left( A_{P}^{1/3} + A_{T}^{1/3} - \delta_{E} \right)^{2} \left( 1 - \frac{B}{E_{cm}} \right)$$
  

$$r_{0} = 1.1 \text{ fm}$$
  

$$B = \frac{1.44Z_{P}Z_{T}}{P2}$$
  

$$R = r_{P} + r_{T} + \frac{1.2 \left( A_{P}^{1/3} + A_{T}^{1/3} \right)}{E_{cm}^{1/3}}$$



- the reduced energy E<sub>red</sub> takes into account the different heights of the Coulomb barrier;
- the reduced reaction cross section s<sub>red</sub> scales the measured total reaction cross section s<sub>reac</sub> according to the geometrical size of the projectile-plus target system.

The reduced cross sections show a very similar behavior for a broad range of projectiles and targets over a wide energy range.

## A selection of results



## A selection of results



10 maggio 2016

## New parametrization: global fit

 $\alpha A$  cross section parameters



## **New parametrization: validation**



7



#### FLUKA use at CNAO

#### A. Mairani, G. Magro, M. Ciocca et al.

- Daily support to the clinical activity
- Recalculation of TP and/or TP-Verifications
- Plan robustness
- Completion of partial treatments
- RBE comparison: NIRS vs. CNAO in carbon ion therapy
  - Towards "new" ion species

10 maggio 2016

Consiglio di Sezione - A. Lanza

*Report richiesto da responsabile nazionale per referees* 

Sistema Sanitario Regione



## Workshops/Conferenze/Scuole

- 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Nuclear Reaction Mechanisms, Varenna 2015
  - A. Fontana, "Nuclear interaction model developments in FLUKA", invited talk
  - A. Embriaco, "On the parametrization of lateral dose profiles in proton radiation therapy"
  - V.E. Bellinzona, "An analytical solution to lateral dose prediction in Hadrontherapy"
- ICTR-PHE 2016 Conference, Ginevra 2016
  - V.E. Bellinzona, "Implementation of an analytical solution to lateral dose prediction in a proton therapy treatment planning system"
- 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
- 17<sup>th</sup> FLUKA Course, Munich, Nov 2015:
  - partecipazione di A. Embriaco

## **Milestones raggiunte**

- Produzione, validazione e implementazione di metodi e data-bases per la descrizione dei profili di dose di fasci terapeutici in acqua e altri materiali.
- Aggiornamento sezione d' urto alpha-nucleo sotto barriera Coulombiana.



fondazione

Centro Nazionale di Adroterapia Oncologico




# CONSUNTIVO MICE

#### INFN - Sezione di Pavia

#### 10 maggio 2016

#### The MICE collaboration

Collaborazione internazionale ~ 150 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 e M. Rossella

Collaborazione con Milano per responsabilità rivelatori TOF

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

#### 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

Consiglio di Sezione - A. Lanza

### **Muon Collider:**

Optimised Higgs Factory:

 Muon mass; Higgs production rate 10<sup>4</sup> times larger then e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>

- 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

10 maggio 2016

3

### **CERN Recognised Experiment**

#### Sue Foffano

17 March 2016 at 17:23

To: Kenneth Long Extension request for MICE

Dear Ken,

Many thanks for your presentation at the REC meeting in January. It was very well received and resulted in a positive recommendation from the REC to the Research Board. I am pleased to confirm at it's meeting last week the Research Board approved the extension of MICE for 3 years.

I am preparing a draft MoU as a result which I will send, hopefully next week, for review and comments at your convenience.

Please don't hesitate to contact me should you have questions in the meantime. Regards, Sue.

#### Scientific potential of muon beams; CERN Nov15

- Discovery programme:
  - Requirement for novel techniques to go beyond
- Pedigree and provenance of muon beams
- R&D to date has shown potential of muon beams to:
  - Enhance performance of cLFV searches;
  - Revolutionise study of neutrino
  - Provide route to high-energy leptonantilepton annihiliation
- Summary of presentations on 18Nov15
  Consiglio

S. Bertolucci (CERN), K. Long (ICL/STFC) Final

11<sup>th</sup> December 2015

#### Muon-accelerator based facilities: opportunities for science

#### Scientific opportunities

The discovery of the Higgs boson has completed the Standard Model but left unanswered questions related to a deeper understanding of the origin of electroweak-symmetry breaking. Neutrino oscillations, which imply neutrino mass and mixing, show that the Standard Model is not the whole story. The LHC experiments seek evidence for new phenomena by which the patterns and features of the Standard Model may be explained. The mysteries associated with neutrino masses are being addressed by experiments around the world that exploit accelerator-based, solar, atmospheric, reactor, radioactive and cosmological sources of neutrinos. Together, the LHC and its upgrades, the DUNE and Hyper-K long-baseline neutrino experiments, the short-baseline neutrino programme and the study of extremely rare processes provide an exceptional discovery platform for the next decade.

To go beyond the capability provided by the LHC, its upgrades and the next generation of accelerator-based neutrino experiments will require innovation in detectors and new particle-acceleration techniques.

Experiments served by muon beams have made, and continue to make, seminal contributions to the development of the electroweak Standard Model, the Quark Parton Model and QCD. Detailed study of the properties of the muon and its decay allow stringent constraints to be placed on phenomena beyond those described by the Standard Model. Muon beams are essential in the search for charged-lepton-flavour violation (cLFV). Advances in technique have led to the preparation of ground-breaking cLFV-search experiments at FNAL, J-PARC and PSI. Muon beams are also exploited in the study of the magnetic and dynamic properties of materials.

Over the past ten to fifteen years an extensive R&D programme encompassing detailed design studies, component development and system-level proof-of-principal experiments has demonstrated that high-brightness muon beams have the potential to:

- · Offer a path towards improved experiments on cLFV with unprecedented sensitivity;
- Revolutionise the study of the neutrino by providing neutrino beams for which the flavour composition and energy spectrum are known precisely; and
- · Provide a route to very high energy lepton-antilepton collisions.

Discussion of the scientific potential of muon beams; CERN 18<sup>th</sup> November 2015

A meeting to discuss the scientific potential of muon beams was held at CERN on the 18<sup>th</sup> November 2015 [1]. 95 people attended the meeting [2]. Invited presentations reviewed: the status of searches for cLFV and the plans for the next-generation experiments COMET, mu2e and g-2; the unique opportunities presented by neutrino beams derived from muon decay; and the benefits of muon accelerators for the energy-frontier lepton-antilepton-collider programme. The status of the technology R&D programme was also reviewed and the scientific programme that could be served by the incremental development of muon-accelerator capability was discussed. Additional contributions covered the advantages of neutrino beams generated from pion decay in a magnetic transport channel, cold muon beams produced through  $e^+e^-$  annihilation, the use of the ESS as a source of conventional, and muon-based neutrino beams, the Chinese muon-beam-development programme and the use of lasers to create cold muon beams. These presentations enriched and enhanced the discussion.

The consensus of the meeting was that the wealth of opportunity offered by facilities based on high-brightness muon beams is sufficient to justify an internationally-coherent programme to review and quantify the potential

78

#### Muon ionization cooling

#### Stochastic cooling is too slow.

#### A novel method for $\mu$ + and $\mu$ - is needed: ionization cooling

principle

reduce pt

and p

heating

increase p<sub>1</sub>

#### 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,px,py,pz,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

Consiglio di Sezione - A. Lanza

10 maggio 2016

 $p_t$ 

dE/dx

multiple scattering

re-acceleration

### MICE setup: cooling + diagnostics



10 maggio 2016

Consiglio di Sezione - A. Lanza

#### 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 <sub>2</sub> and LiH	Yes	LH <sub>2</sub> and/or LiH	
Observation of $\epsilon_{\perp}^{n}$ reduction	Yes	Yes	
Demonstration of sustainable ionization cooling			
Observation of $\epsilon_{\perp}$ reduction		Yes	
with re-acceleration			
Observation of $\epsilon_{\perp}$ reduction and		Yes	
$\epsilon_{\parallel}$ evolution			
Öbservation of $\epsilon_{\perp}$ reduction and		Yes <sup>a</sup>	
$\epsilon_{\parallel}$ and angular momentum			

<sup>a</sup>Requires systematic study of "flip" optics

# Status of step IV



- E' stata completata la costruzione di step IV
- Si prevede il commissioning inizi il prossimo giugno

#### Cosa Farà?

- Misure scattering multiplo
- Misure emittanza con differenti materiali e momenti



10 maggio 2016

#### Consiglio di Sezione - A. Lanza

# Run dati

	September 21 <sup>st</sup> – 22 <sup>nd</sup>	SSU at 1.5 T
	September 25 <sup>th</sup> – 29 <sup>th</sup>	Ckov momentum scan
		Magnetic field remnant study
		Beam polarisation measurement
	October 7 <sup>th</sup>	4 T in SSU
CM	October 14 <sup>th</sup>	TOF0 alignment
43	December 3 <sup>rd</sup> - 7 <sup>th</sup>	FC alignment study
	December 13 <sup>th</sup> - 16 <sup>th</sup>	Scattering in Xenon and empty
	February 23rd – March 24 <sup>th</sup>	Alignment studies
		Empty absorber data
		Scattering in LiH
		Pionic beamline studies

# Analisi



# Analisi



# Analisi



- Use of a pion beamline gives very good rate
- MC studies indicate very good purity from simple TOF cut
- Looks very promising
- Need to reoptimise beamline optics

#### Articoli, note e presentazioni

- Adams, D.; Alekou, A.; Apollonio, M.; et al., *Pion contamination in the MICE muon beam*, (2016) JOURNAL OF INSTRUMENTATION
- Adams, D.; Alekou, A.; Apollonio, M.; et al., *Electron-muon ranger: performance in the MICE muon beam*, (2015) JOURNAL OF INSTRUMENTATION
- M.Bonesini (for the TOF group), *The TOF1 local shielding*, (2015) MICE-NOTE-DET-0455

### Ringraziamenti

• Si ringrazia tutto il personale del servizio di elettronica dell'INFN e dell'Universitá di Pavia e l'officina meccanica.

• Si ringraziano inoltre R. Bertoni e R. Mazza della sezione INFN di Milano Bicocca.

### Finanziamenti

- Missioni 1k euro
- Consumi 1k euro

10 maggio 2016

top

# NeTTuNo

Consuntivi 2015

# Obiettivi di NeTTuNo

1. test in vitro e in vivo di nuovi veicolanti del Boro su modelli animali di tumori toracici (quasi finito, chiesto prolungamento per la parte di mesotelioma)

2. misura del boro mediante PET in pazienti trattati con F-18-BPA (*non ci sono stati avanzamenti per motivi indipendenti da noi, manca autorizzazione Agenzia del Farmaco - AIFA*)

3. progetto di un fascio di neutroni per l'irraggiamento di pazienti (100%)

# 1. BNCT su modelli animali di tumori toracici

irraggiamento di ratti sani e con metastasi polmonari trattati con BPA

- Animali sani: con o senza trattamento con boro non hanno riportato danni (da 0.6 a 7 Gy-Eq), sia a brevi tempi di osservazione (1 settimana) sia a tempi più lunghi (8-10 settimane). Nel caso di dose più alta e a tempi più lunghi si è evidenziata leggera infiammazione o lieve fibrosi
- Animali con metastasi, trattati con B, dosi tra 9 e 27 Gy-Eq. Effetti sul tumore:
  - Aree di necrosis, soprattutto attorno ai vasi
  - Fibrosi nei noduli tumorali
  - Cellule giganti, conseguenza di catastrofe mitotica
  - Nessun danno ai tessuti sani

#### Areas of necrosis





x10

Areas of apoptosis



x40



x100



# BNCT of Mesothelioma – new carriers (Colleghi dell'Università di TO e del Policlinico S.Matteo, Pneumologia)



Molecola con 10 atomi di 10B, Gd per quantificazione con MRI e LDL per veicolare la molecola nel tumore (AT101/LDL)



Assorbimento selettivo del Gd/B, in funzione della concentrazione di LDL, in linee tumorali (compreso mesothelioma) rispetto ad una linea di cellule sane • Preparazione modello animale e primi studi in vivo

Sono stati preparati topi nudi con **mesothelioma umano** indotto da linea ZL34. Il tumore è cresciuto rapidamente e dopo 12-15 giorni ha raggiunto volume di 10–20 mm<sup>3</sup>. Sono stati quindi trattati con bolus di AT101/LDL e misurati con MRI dopo 6 h(immagini pesate T1, multislice spin-echo); nel tumore sono stati misurati 31 ppm di B.

Due gruppi di animali sono stati irraggiati:

- il primo (n = 5) è stato trattato con AT101/LDL 6 h prima dell'irraggiamento,
- il secondo (gruppo di controllo irradiato, n=5) è stato irraggiato senza infusion di boro.

Risultati preliminari mostrano regressione del tumore.

# 2. misura del boro mediante PET in pazienti trattati con F-18-BPA

#### Ancora non c'è risposta AIFA nonstante reiterati solleciti

#### 3. progetto di un fascio di neutroni per pazienti

Tesi di PhD: Ian Postuma Design di un Beam Shaping Assembly per acceleratore di protoni RFQ (5 MeV – 30 mA) e target di Be.

E' stata scelta la configurazione che ha dato migliori risultati in termini di caratteristiche del fascio e soprattutto in termini di dosimetria in caso clinico







- Servizi 10k euro
- Inventariabile 5k euro

# PixFEL Consuntivi 2015 INFN Sezione di Pavia

Massimo Manghisoni

Università degli Studi di Bergamo

10 May 2016

## 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
- 3.3 FTE from INFN Pavia

#### Finanziamenti:

- Missioni 1k euro
- Consumo 72k euro



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

# 2015 main tasks and activities

- characterization of the test structures produced during the first year run
  - PFT1 chip: test structures with single blocks (CSA with signal compression, SAR ADC...)
  - **PFM1 chip:** 8×8 pixel matrix, with a 110 μm pitch with simple readout electronics
- design of a readout chip featuring 32×32 channels with a 110 μm pitch; the 16 mm<sup>2</sup> chip has be designed in a 65 nm CMOS technology and submitted for fabrication



PFM2: 32x32 matrix chip



Pixel layout (110um x 110 um)

# **Full Channel Transfer Function**



#### Results from the PFT1 test structures

- Proper operation tested at 1 MHz conversion rate (100 ns ADC clock period)
- 1.85 bin/ph for small signals Non-linearity lower than 0.6 ph in the first 20 ph input range
- Some issues with a 2 MHz operation (40 ns ADC clock period)



10 maggio 2016

### Analog Front-end Noise Performance

ENC evaluated for both the analog front-ends (NMOS and PMOS) available in PFT1



**Results:** 

- SNR NMOS @ 50 ns = 1.8
- SNR PMOS @ 50 ns = 2.3

#### Better results for the PMOS:

- Higher capacitance shunting the input node in the NMOS version
- Better rejection of induced noise from the substrate in the PMOS

#### Conclusion: a PMOS device has been used as feedback element in the 32x32 matrix

# **Results from PFM1 Matrix Chip**



- Se si opera solo 1 pixel (resto della matrice non converte) troviamo risultati simili a quelli ottenuti sul chip di test con singolo canale
  - Risposta all'iniezione bilineare
  - Gain low\_energy=1.43 mV/ph, Gain high\_energy=0.09 mV/ph
  - Noise canali 0.4-0.9 ADC counts -> 60-140 e-
- Operando tutti i 64 pixel si osservano strani effetti (induzione, caduta di tensione su linee di riferimento, etc...)

### Presentations

- L. Lodola,, "Interleaved SAR ADC for in-pixel conversion in future X-ray FEL application", IEEE PRIME 2015, 29 June-2nd July 2015, University of Glasgow, Scotland.
- G. Rizzo, On behalf of the PixFEL Collaboration, "The PixFEL project: progress towards a fine pitch X-ray imaging camera for next generation FEL facilities", *Frontier Detectors for Frontier Physics*, 13th Pisa Meeting on Advanced Detectors, 24-30 May 2015, La Biodola, Isola d'Elba (Italy)
- L. Lodola, On behalf of the PixFEL Collaboration, "In-pixel conversion with a 10 bit SAR ADC for next generation X-ray FELs" Frontier Detectors for Frontier Physics, 13th Pisa Meeting on Advanced Detectors, 24-30 May 2015, La Biodola, Isola d'Elba (Italy)
- L. Ratti, On behalf of the PixFEL Collaboration, "A 2D imager for X-ray FELs with a 65 nm CMOS readout based on per-pixel signal compression and 10 bit A/D conversion", 10th International Hiroshima Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors, Xi'an, China, 25-29 September 2015
- D. Comotti, On behalf of the PixFEL Collaboration, "A 10 bit Resolution Readout Channel with Dynamic Range Compression for X-ray Imaging at FELs" IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS 2015), San Diego, CA USA, 31 Ottobre-7 Novembre 2015
- M. Manghisoni, D. Comotti, L. Gaioni, L.Ratti, V. Re, G. Traversi, "Low-noise Fast Charge Sensitive Amplifier with Dynamic Signal Compression", *IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS 2015), San Diego, CA USA, 31 Ottobre-7 Novembre 2015* 10 maggio 2016

### **Publications**

- M. Manghisoni, D. Comotti, L. Gaioni, L. Ratti, V. Re, "Dynamic compression of the signal in a charge sensitive amplifier: From concept to design", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 62, no. 5, pp. 2318-2326, 2015. ISSN: 0018-9499, doi: 10.1109/TNS.
- L. Ratti, D. Comotti, L. Fabris, M. Grassi, L. Lodola, P. Malcovati, M. Manghisoni, V. Re, G. Traversi, C. Vacchi, S. Bettarini, G. Casarosa, F. Forti, F. Morsani, A. Paladino E. Paoloni, G. Rizzo, M.A. Benkechkache G.-F. Dalla Betta, R. Mendicino, L. Pancheri, G. Verzellesi, H. Xu, "PixFEL: developing a fine pitch, fast 2D X-ray imager for the next generation X-FELs", *Nucl. Instrum. Meth.*, vol. A796, pp. 2-7, 2015. ISSN: 0168-9002, doi: 110.1016/j.nima.2015.03.022
- 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, vol. 10, C04003, April 2015. ISSN: 1748-0221, doi: 10.1088/1748-0221/10/04/C04003
- G. Rizzo, et al, "The PixFEL project: development of advanced X-ray pixel detectors for application at future FEL facilities", Journal of Instrumentation, vol. 10, C02024, Feb. 2015. ISSN: 1748-0221, doi: 10.1088/1748-0221/10/02/C02024
- L. Lodola, et al, "In-pixel conversion with a 10 bit SAR ADC for next generation X-ray FELs", Nucl. Instrum. Meth., Available online 26 October 2015 (IN PRESS)







#### Meccanismi di risposta RADIObiologica a fotoni e a particelle cariche di cellule STaMinali tumorali e derivanti da tessuto sano

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

#### 2012 - 2014, con estensione su Dot V senza sigla nel 2015

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

#### Finanziamenti:

• Consumo 4k euro (su Dot V)

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

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



# Proliferation of neural stem cells after irradiation with C ions and X-rays







assay was performed MTT on NHNP cells after either X-rays and C ions exposures.

Results show a dose-dependent effect of X-rays at 48h, which is enhanced at 7d, especially for the intermediate doses.

The effect of C ions is different, without a dose-dependent reduction of proliferation; the maximum reduction is already reached with the lowest dose both at 48h and 7d.



48h - X rays





7d - X rays



48h - C ions







Cell cycle is not so affected by irradiation 48h after X-ray irradiation, but apoptosis showed a little increase:

this is evident also 7d postirradiation.

For C ions irradiation, the observed effect is similar, with a high level of apoptotic cells especially 7d postirradiation.

In NHNP cells, the differences observed in cell cycle are not very different between low and high LET radiation
# Spheroid formation assay



Since NHNP cells grow as spheroid, <u>spheroid formation</u> <u>assay</u> was performed in order to evaluate how radiation could influence cells' behaviour.

We took pictures every day for 1 week in order to obtain a temporal dynamic of spheroids' growth. The effect of C ion is more pronounced compared to the X ray effect, and the in silico analysis of spheroid dimension is ongoing with the aim of describing mathematically the differences in radiation effect.

### Signaling Spectra (Cytokine Panel)

We confirmed the data obtained in the previous experiments. In particular, we were able 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-3α, TARC TGF-β1, IGF-1, ANG, Leptin, BLC, CCL23, Eotaxin-3 and Flt-3 Ligand; in this group the highest modified cytokines are MIP-3α, GRO, Eotaxin-3, MCP-2 and TGF-β1 (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.

#### ISI publications of the group (Alloni, Babini, Baiocco, Morini and Ottolenghi: 2015 only)

- 1. Salomaa S, Averbeck D, Ottolenghi A, Sabatier L, Bouffler S, Atkinson M, Jourdain, J-R European Low Dose Risk Research Strategy Future of research on biological effects at low doses. Radiation Protection Dosimetry Vol. 164, No. 1–2, pp. 38–41 (2015).
- 2. 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
- 3. 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 vol. 166, p. 15-18 (2015).
- 4. 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 vol. 166, p. 86-90 (2015).
- 5. 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 vol. 166, p. 316-319 (2015).
- 6. Ottolenghi, G. Baiocco, V. Smyth, K. Trott The ANDANTE project: a multidisciplinary approach to neutron RBE Radiation Protection Dosimetry vol. 166, p. 311-315 (2015).
- 7. L. Mariotti, A. Abdelrazzak, 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 vol. 166, p. 161-164 (2015).
- 8. D. Alloni, M. Prata, A. Salvini, A. Ottolenghi Neutron flux characterization of the Pavia TRIGA Mark II reactor for radiobiological and microdosimetric Applications Radiation Protection Dosimetry vol. 166, p. 261-265 (2015).
- 9. 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 vol. 166, p. 95-100 (2015).
- 10. 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 vol. 166, p. 165-169 (2015).
- 11. 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 vol. 166, p. 157-160 (2015).
- M. Ciemala, M. Kmiecik, A. Maj, K. Mazurek, A. Bracco, VL. Kravchuk, G. Casini, S. Barlini, G. Baiocco, L. Bardelli, P. Bednarczyk, G. Benzoni, M. Bini, N. Blasi, S. Brambilla, M. Bruno, F. Camera, S. Carboni, M. Cinausero, A. Chbihi, M. Chiari, A. Corsi, FCL Crespi, M. D'Agostino, M. Degerlier, B. Fornal, A. Giaz, F. Gramegna, M. Krzysiek, S. Leoni, T. Marchi, M. Matejska-Minda, I. Mazumdar, W. Meczynski, B. Million, D. Montanari, L. Morelli, S. Myalski, A. Nannini, R. Nicolini, G. Pasquali, S. Piantelli, G. Prete, OJ Roberts, C. Schmitt, J. Styczen, B. Szpak, S. Valdre, B. Wasilewska, O. Wieland, J.P. Wieleczko, M. Zieblinski, J. Dudek, ND. Dang *Giant dipole resonance built on hot rotating nuclei produced during evaporation of light particles from the Mo-88 compound nucleus* Phys. Rev. C 91, 5 054313 (2015)
- G. Casini, L. Morelli, S. Barlini, S. Piantelli, M. D'Agostino, G. Baiocco, T. Marchi, U. Abbondanno, G. Ademard, S. Appannababu, M. Bini, E. Bonnet, B. Borderie, R. Bougault, M. Bruno, A. Chbihi, M. Cinausero, M. Degerlier, D. Fabris, JD. Frankland, N. Gelli, F. Gramegna, D. Gruyer, F. Gulminelli, A. Kordyasz, T. Kozik, VL. Kravchuk, P. Kulig, N. Le Neindre, O. Lopez, PR. Maurenzig, A. Olmi, G. Pasquali, M. Parlog, G. Poggi, MF. Rivet, E. Rosato, Z. Sosin, G. Spadaccini, AA. Stefanini, T. Twarog, S. Valdre, E. Vient, AR. Raduta *From Light to Heavy Nuclear Systems, Production and Decay of Fragments Studied with Powerful Arrays* Act. Phys. Pol. A 127, 5 1548 (2015)
- 14. D. Fabris, F. Gramegna, T. Marchi, M. Degerlier, OV. Fotina, VL. Kravchuk, M. D'Agostino, L. Morelli, S. Appannababu, G. Baiocco, S. Barlini, M. Bini, A. Brondi, M. Bruno, G. Casini, M. Cinausero, N. Gelli, R. Moro, A. Olmi, G. Pasquali, S. Piantelli, G. Poggi, S. Valdre, E. Vardaciv*Pre-equilibrium particles emission and its possible relation to alpha-clustering in nuclei* Act. Phys. Pol. 46, 3 447 (2015)
- 15. T. Marchi, F. Gramegna, D. Fabris, M. Degerlier, OV. Fotina, VL. Kravchuk, M. D'Agostino, L. Morelli, S. Appannababu, G. Baiocco, S. Barlini, M. Bini, A. Brondi, M. Bruno, G. Casini, M. Cinausero, N. Gelli, R. Moro, A. Olmi, G. Pasquali, S. Piantelli, G. Poggi, S. Valdre, E. Vardaciv*Pre-equilibrium emission and its possible relation to alpha-clustering in nuclei* EPJ Web of Conf. 88, 00016 (2015)
- 16. L. Morelli, G. Baiocco, M. D'Agostino, F. Gulminelli, M. Bruno, M. Cinausero, M. Degerlier, D. Fabris, F. Gramegna, T. Marchi, S. Barlini, M. Bini, G. Casini, N. Gelli, A. Olmi, G. Pasquali, S. Piantelli, S. Valdre *Cluster correlation effects in C-12+C-12 and N-14+B-10 fusion-evaporation reactions* EPJ Web of Conf. 88, 00026 (2015)
- F. Gramegna, D. Fabris, T. Marchi, M. Degerlier, OV. Fotina, VL. Kravchuk, M. D'Agostino, L. Morelli, S. Appannababu, G. Baiocco, S. Barlini, M. Bini, A. Brondi, M. Bruno, G. Casini, M. Cinausero, N. Gelli, R. Moro, A. Olmi, G. Pasquali, S. Piantelli, G. Poggi, S. Valdre, E. Vardaci Pre-equilibrium Emission and alpha-clustering in Nuclei Journal of Physics Conference Series 580, 012011 (2015).



### 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
  - 2013-2015
- Responsabile nazionale
  - A. Vacchi
- Responsabile locale
  - P. Malcovati

- Ulteriore sviluppo di camere a deriva di silicio di grande superficie
- Caratterizzazione delle camere a deriva di nuova generazione con l'ASIC sviluppato dalla Sezione di Pavia
- Applicazioni nei campi di astrofisica X e γ, diagnostica medica (camera Compton), Advanced Light Sources (Sincrotrone e FEL)
- Stretta interazione con diversi progetti per potenziali missioni nello spazio (ESA, Cina, Russia)
- Personale strutturato della Sezione di Pavia: 0.8 FTE
  - Piero Malcovati: 40%
  - Marco Grassi: 40%

### Risultati 2015



### Risultati 2015



# Consuntivo 2015

Voce	Consuntivo 2015
Servizi Trasporti e Facchinaggio Attività Laboratorio	0€
Licenze Software	0€
Trattamento Missioni	1,000€
Materiale di Consumo Attività Laboratorio	16,500 € (SJ) Trasferiti su RedSoX2
Impianti Attrezzature Macchinari	0€
Totale	1,000€
Residuo	—

top

### ScalTech28

Low-power rad-hard circuit design in scaled technologies

• Piero Malcovati, Marco Grassi

- Acquisizione del design kit TSMC CMOS 28nm
- Progettazione e layout di dispositivi standalone
  - Transistors (MIB, PD)
  - Capacità MOM (PV)
- Progettazione di circuiti analogici e misti (PV)
  - Oscillatore con array di capacità programmabile per valutare l'effetto delle radiazioni sulle capacità MOM
  - Shift register con 10000 flip-flops for valutazione SEU
- Sottomissione del chip: 15 luglio 2015
- Consegna del chip: Novembre 2015



**Standalone Devices** 



#### Oscillator with Programmable Capacitor Array



### Attività 2015 – Misure Preliminari



### Attività 2015 – Misure Preliminari



### Attività 2015 – Misure Preliminari



## Attività Previste 2016

- Test di radiazione su dispositivi standalone
  - Condensatori standalone
  - Oscillatore con array di condensatori
  - Shift register
- Progettazione di blocchi base mixed-signal in tecnologia 28nm
  - 12-bit zoom-ADC
  - Circuiti digitali

# Consuntivo 2015/Preventivo 2016

Voce	Consuntivo 2015	Preventivo 2016
Servizi Trasporti e Facchinaggio Attività Laboratorio	0.00€	0€
Licenze Software	0.00€	0€
Trattamento Missioni	0€	2,000 €
Materiale di Consumo Attività Laboratorio	2,000.00€	2,000€
Impianti Attrezzature Macchinari	0.00€	0€
Totale	2,000.00€	4,000 €
Residuo	2,000.00€	



#### **TECHN\_OSP - PAVIA**

IFN Istituto N di Fisica ✓ M ✓ M	Azionale Nucleare) Salvini ( assimo Oddor ichele Prata –	local co ne (Radi LENA	ordina iochen	itor), - nistry a	LENA area) —	Chemistry Dept.,	
√Gi √Lu	ovanni Magro Icilla Strada - (	otti – LE Chemis	NA try De	pt.)			3
	Consuntivo fo	ndi CSN:	V	Anno:	2015	Sigla: TECHN_OSP	
	FTE: 2,2 Persone (Ricercatori + Tecnologi): 5						
	Missioni					Nete	
	Mootings		Speso %			Note	
	Turni o costruzione	2	0	#DIV/0I			
	Conferenze	0	0	#DIV/0			
	Totale	2					
				•			
	Capitolo	Assegnat	Come	Speso Variazio		Note	
		Ŭ			Bilancio		
	Consumi	7	5,80	0	0	Saldo spese magazzino esperimento techn_osp	
	Altri Consumi	0	0	0	0		
	Costruzione Appara	0	0	0	0	0	
	Inventario	0	0	0	0		
	Licenze	0	0	0	0		
	Trasporti	1	0	0	0		
	Sonvizi	0	0	0	0		
	JEIVIZI	Ŭ					



### The TECHN-Osp (2015-2017) research project





### **TECHN-Osp research WBS structure proposed**



The role of different research units Step (D): Quality Control (QC) procedures on both Tc99m and recovered Mo100



lstituto Nazionale di Fisica Nucleare



#### **Mo Targets**

Targets are few foils <sup>100</sup>Mo enriched of 20-25 micron stick together and separated by aluminum foils







The irradiations were fixed with 18 MeV of Protons with a constant current of about 110 nA for a duration of 1 h.

This energy was chosen considering the references, with the production yields on energy of both <sup>99m</sup>Tc and impurity, and the consideration that many cyclotrons installed inside hospitals, in Italy, are 18 MeV accelerators The final activity expected was about 2.5 MBq of Tc-99m for each foil. 10 maggio 2016 Consiglio di Sezione - A. Lanza 131



#### Set of separations to verify the excitation curve



After measures in  $\gamma$ -ray spectrometry at LASA Laboratory and the complete decay of Tc-99m and Mo-99, all the separations were made in Pavia manually with MEK

10 maggio 2016



#### **Mo Targets Analysis**

The direct <sup>99g</sup>Tc excitation function was thus determined using ICP-MS in combination with γ-ray spectrometry to correct for the indirect <sup>99g</sup>Tc contributions produced by the complete decay of <sup>99m</sup>Tc and <sup>99</sup>Mo





In vivo multimodality imaging studies (SPECT-CT) were performed by using both the generator- and accelerator-produced <sup>99m</sup>Tc pertechnetate

An automatable extraction module was tested in Ferrara laboratory

Recycle by precipitation of ammonium isopolymolibdate at pH 2-4. The solution was reduced in volume by half using a mild eating. After filtration of the ammonium salt with no ashes filter the product was calcinated at about 500°C obtaining Mo oxide

Studies on the Reduction of Molybdenum by Hydrogen are ongoing

The study was presented at the "Accelerator-based Alternatives to Non-HEU production of MO-99/Tc-99m" IAEA's Coordinated Research Project (CRP) in Vienna June 2015 and will be published as IAEA report.

<u>top</u>





### 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 10 maggio 2016



### "Out-core" irradiation facilities

















La facility allo <u>stato attuale</u> permette di irraggiare campioni alla **Zona 4**. La modifica permetterebbe di irraggiare i campioni alla **Zona 1** con <u>taglio della</u> <u>parte termica</u> dello spettro.

Zona 4	C	hannel D – Zone 1	(n cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		
	Т	hermal (E < 0.5 eV)	(6.34 ± 0.31) 10 <sup>11</sup>		
	Epitherr	nal (0.5 eV < E < 0.5 MeV)	(4.43 ± 0.22) 10 <sup>11</sup>		
	l	Fast (E > 0.5 MeV)	(7.14 ± 0.36) 10 <sup>10</sup>		
		Total Flux	(1.14 ± 0.06) 10 <sup>12</sup>		
Channel D – Zone	4	MCNP Flux (n cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Luca Reversi <i>"Studio computazionale per la</i>		
Thermal (E < 0.5 e)	/)	(2.99 ± 0.15) 10 <sup>08</sup>	realizzazione di un fascio di		
Epithermal (0.5 eV < E < 0	).5 MeV)	(5.65 ± 0.28) 10 <sup>08</sup>	reattore TRIGA di Pavia"		
Fast (E > 0.5 MeV)	)	$(2.36 \pm 0.12) 10^{08}$	Master Degree Thesis – University		
Total Flux		(1.10 ± 0.05) 10 <sup>09</sup>	UI Pavia (2013)		







Consiglio di Sezione - A. Laza. 95m









#### Stato attuale del "Trenino"







#### Stato attuale del Trenino



✓ Il trenino attuale è composto da 16 vagoni di alluminio ciascuno di lunghezza
22 cm, con 17 assi con 2 ruote in teflon ciascuno.



#### ✓ La lunghezza totale del convoglio è di 352 cm

10 maggio 2016



#### Stato attuale del Trenino

 ✓ Il vagone di testa ospita un porta campioni delle dimensioni di
17 cm (Lunghezza)
x 6 cm (Larghezza)
x 6 cm (Altezza)





#### Il Trenino che sarà...






### ...la rotaia interna







### ... e la rotaia esterna





Consiglio di Sezione - A. Lanza



### ... e la rotaia esterna













- Modifica della tipologia di trenino: si passerebbe dal vecchio trenino <u>"a catena"</u> ad un vagone portacampioni in testa al convoglio spinto da un locomotore teleguidato. Il vagone viene posizionato nella zona di irraggiamento e il locomotore ritirato nella stazione di riposo al riparo dal campo neutronico diretto durante l'irraggiamento.
- ✓ 2 tipologie di **carrello**:
  - in **ABS** per irraggiamenti che richiedono <u>l'estrazione immediata</u>;
  - in alluminio per <u>irraggiamenti lunghi</u>che vanno poi tenuti a raffreddare in zona sotto schermatura con <u>monitoraggio in remoto</u> <u>dell'intensità di dose</u>
- Schermo per il taglio del flusso termico: (Cadmio, carburo di boro, Boral....) si stanno ancora studiando 2 opzioni:
  - Schermo rimovibile: p.es un <u>vagone cisterna</u> dove il campione è contenuto sotto schermo;
  - ✓ Schermo fisso in cima al binario che <u>avvolge la stazione terminale</u>



## Studio dello schermo in Cadmio









- ✓ Tutto il materiale ordinato nel 2015 è stato consegnato ed è ora disponibile
- Il binario a curva 90° verrà unito al binario interno e montato esternamente alla schermatura per prove a freddo del locomotore e dei carrelli
- Nel corso del 2016 è in programma un fermo macchina del reattore di 1 mese per la sostituzione del canale di misura LOG della consolle del reattore (data ancora da fissare, presumibilmente giugno 2016). In concomitanza con questo fermo macchina si procederà alla rimozione della schermatura e installazione della nuova facility.





## Pubblicazioni 2015

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"

ANNALS OF NUCLEAR ENERGY **85** (2015) 925-936 DOI: 10.1016/j.anucene.2015.07.011

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"** NUCLEAR ENGENEERING AND DESIGN **300** (2016) 308-321 *arXiv:1503.00873 [physics.ins-det]* DOI: 10.1016/j.nucengdes.2016.01.026

D. Chiesa, M. Clemenza, S. Pozzi, E. Previtali, M. Sisti, D. Alloni, G. Magrotti, S. Manera, M. Prata, A. Salvini, A. Cammi, A. Sartori, M. Zanetti, **"Fuel burnup analysis of the TRIGA Mark II Reactor at University of Pavia"** 

submitted to ANNALS OF NUCLEAR ENERGY (OCTOBER 2015) arXiv:1511.06274v1 [physics.ins-det] 10 maggio 2016 Consiglio di Sezione - A. Lanza





## **Presentazioni a Conferenze 2015**

D. Alloni, G. Magrotti, M. Oddone, M. Prata, A. Salvini

"LENA –Laboratory of Applied Nuclear Energy (University of Pavia) - Neutron Facilities & Main Activities"

XXVI CONGRESSO ANNUALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI SPETTROSCOPIA NEUTRONICA (SISN)

ENEA Centro Ricerche, Frascati – 1-3 Luglio 2015

Book of Abstracts (2015) 44

D. Alloni, M. Prata on behalf of LENA staff **"Laboratory of Applied Nuclear Energy (LENA, University of Pavia): neutron facilities and main activities"** 8<sup>TH</sup> YOUNG RESEARCHERS BNCT MEETING Pavia – 13th-17th September 2015 Book of Abstracts (2015) 71



## FTE - Sezione di Pavia



•	Magrotti Giovanni	0.50 FTE
•	Oddone Massimo	0.20 FTE
•	Prata Michele (Responsabile Locale)	0.40 FTE
•	Andrea Salvini	0.30 FTE
•	Strada Lucilla	0.10 FTE
TOTALE		1.50 FTE
	FTE - Sezione di Milano Bicocca	
•	Cammi Antonio (Responsabile Nazionale)	0.40 FTE

- Moretti Massimiliano
   0.50 FTE
- Zanetti Matteo 0.50 FTE

### TOTALE

#### **1.40 FTE**

top

#### Missioni (Riunioni di collaborazione e partecipazioni a congressi)

• Consumo

(materiale per la costruzione carrelli in ABS e materiale assorbitore componente termica dello spettro neutronico)

• Servizi

(Utilizzo del reattore TRIGA e delle facility del LENA e movimentazione schermature)

**TOTALE 12.00 k€** 

4.00 k€





# 4.00 k€

4.00 k€

## **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).

# WP3 Resonant Ionization Laser Ion Source Work Package

# SPES PAVIA

Laboratorio di Spettroscopia Laser (prof. Piero Benetti):

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

Martina Iannelli corso di laurea Elettronica (Fotonica) Facoltà di Ingegneria Pavia

**NESSUN FINANZIAMENTO PER IL 2015** 

# ATTIVITÀ

sono state eseguite misure di fotoionizzazione di Stagno con tecnica Optogalvanica accoppiata a tempo di volo

Collaborazione internazionale

#### 2015

•

Alberto Monetti, Alberto Andrighetto, Carlo Petrovich, Mattia Manzolaro, Stefano Corradetti, <u>Daniele Scarpa</u>, Francesco Rossetto, Fernando Martinez Dominguez, Jesus Vasquez, Massimo Rossignoli, Michele Calderolla, Roberto Silingardi, Aldo Mozzi, Francesca Borgna, Gianluca Vivian, Enrico Boratto, Michele Ballan, Gianfranco Prete, and Giovanni Meneghetti.

The rib production target for the spes project.

The European Physi- cal Journal A, 51(10):128, 2015. ISSN 1434-6001. doi: 10.1140/epja/i2015-15128-6. URL <u>http://dx.doi.org/10.1140/epja/i2015-15128-6</u>

•

Galasso G., Kaltenbacher M., <u>Tomaselli A., and Scarpa D</u>. A unified model to determine the energy partitioning between target and plasma in nanosecond laser ablation of silicon.

Journal of Applied Physics, 117(12):123101, 2015. doi:

http://dx.doi.org/10.1063/1.4915118. URL

http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap/117/12/10.1063/1.4915118

de Angelis, G., Prete, G., Andrighetto, A., Manzolaro, M., Corradetti, S., <u>Scarpa, D.</u>, Rossignoli, M., Monetti, A., Lollo, M., Calderolla, M., Vasquez, J., Zafiropoulos, D., Sarchiapone, L., Benini, D., Favaron, P., Rigato, M., Pegoraro, R., Maniero, D., Calabretta, L., Comunian, M., Maggiore, M., Lombardi, A., Piazza, L., Porcellato, A.M., Roncolato, C., Bisoffi, G., Pisent, A., Galata', A., Giacchini, M., Bassato, G., Canella, S., Gramegna, F., Valiente, J., Bermudez, J., Mastinu, P.F., Esposito, J., Wyss, J., Russo, A., and Zanella, S.

The SPES project of infn: Facility and detectors.

EPJ Web of Conferences, 88:00011, 2015. doi: 10.1051/epjconf/20158800011. URL <a href="http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20158800011">http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20158800011</a>

•

G de Angelis, SPES collaboration, G Prete, A Andrighetto, M Manzolaro, S Corradetti, <u>D Scarpa</u>, M Rossignoli, A Monetti, M Lollo, M Calderolla, J Vasquez, D Zafiropoulos, L Sarchiapone, D Benini, P Favaron, M Rigato, R Pegoraro, D Maniero, L Calabretta, M Co- munian, M Maggiore, A Lombardi, L Piazza, A M Porcellato, C Roncolato, G Bisoffi, A Pisent, A Galata', M Giacchini, G Bassato, S Canella, F Gramegna, J Valiente, J Bermudez, P F Mastinu, J Esposito, J Wyss, A Russo, and S Zanella.

Nuclear structure studies with stable and radioactive beams: The SPES radioactive ion beam project.

Journal of Physics: Conference Series, 590(1):012010, 2015. URL <a href="http://stacks.iop.org/1742-6596/590/i=1/a=012010">http://stacks.iop.org/1742-6596/590/i=1/a=012010</a>

top









# RDS\_SPES (Sigla SPES\_PV) Radiation Damage Study for SPES

## Report on 2015 activity

A. Zenoni<sup>1,2,3</sup>, M. Ferrari<sup>1,2,3</sup>, F. Bignotti<sup>1,2</sup>, A. Donzella<sup>1,2,3</sup>, S. Pandini<sup>1,2</sup>

G. Donzella<sup>1</sup>, D. Battini<sup>1</sup>, L. Provezza<sup>1,3</sup>

D. Alloni<sup>4,3</sup>, M. Prata<sup>4,3</sup>, A. Salvini<sup>4,3</sup>

A. Andrighetto<sup>5</sup>, S. Corradetti<sup>5</sup>, M. Manzolaro<sup>5</sup>, A. Monetti<sup>5</sup>, D. Scarpa<sup>5</sup>, R. Silingardi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale, Università di Brescia
<sup>2</sup>INSTM, Unità di Ricerca, Università di Brescia
<sup>3</sup>INFN, Sezione di Pavia
<sup>4</sup>L.E.N.A. Università di Pavia
<sup>5</sup>Laboratori Nazionali di Legnaro, INFN

10 maggio 2016 Consiglio di Sezione INFN PV 10-05-2016

# **RDS\_SPES** activities in 2015



1) Radiation hardness tests of elastomeric vacuum O-rings for the use in the SPES Front-End

 Theoretical and experimental study of radiation dose threshold of elastomeric vacuum O-rings (end point determination)

 Calculations of activation of the SPES Front-End in operating conditions and dosimetry for safe mechanical design and radiation protection (MCNPX+CINDER, FLUKA)













Choice of elastomeric O-rings to be irradiated and tested in the first rad-hard campaign



- 1) VITON FKM (fluoroelastomer) "Viton" based standard elastomer. Optimum for vacuum applications. More transparent in neutron fields than EPDM, saturated with Fluorine. Generally considered poorly radiation resistant.
- EPDM1 EPDM (Ethylene-propylene-diene monomer) based elastomer. Sulfur cured. Fair mechanical properties. No radiation resistance declared. EPDM generally considered radiation resistant. Standard SPES material, cheap product.
- 3) EPDM2 EPDM based elastomer. Peroxide cured. Good mechanical properties. No radiation resistance declared. Intermediate price.
- EPDM3 EPDM based elastomer. Peroxide cured. Excellent mechanical properties. Certified special material, radiation resistance tested up to 1.6 MGy in photon fields. Expensive material.

## A sample of results on mechanical quantities (0.5, 1.0, 2.0, 3.0 hour irradiation at LENA)

INFN









Conclusions on elastomeric vacuum O-rings rad-hard study (End user point of view)

- 1) VITON based elastomers are more transparent to fast neutron fields than standard elastomers saturated with hydrogen. However, VITON properties change rapidly with absorbed dose; brittle at intermediate doses. Not recommended.
- EPDM polymer based elastomers may have very different behaviors versus absorbed dose, depending on the specific compound, curing, additives, quality and control of ingredients, accuracy of the process.
- 3) EPDM 1 (Standard SPES material) has fair mechanical properties that change consistently with irradiation. Not recommended.
- EPDM 3 is a special radiation resistant material with excellent mechanical properties that remain very stable with irradiation (unless E@B); very high cost (100 factor more). Not competitive.
- 5) EPDM 2 has good mechanical properties that stay sufficiently stable with irradiation; it is not a special material; it can fit SPES requirements at limited cost. Optimum price performance ratio.



Support and expressions of interest in rad-hard activities with reactor n+γ mixed fields



- 1) SPES Technical Advisory Committee encouraged and supported rad-hard studies improving nuclearization of the Front-End. (Meeting at LNL on October 26-27, 2015)
- CTS LENA approved and supported the continuation of the activity. (Meeting on March 30, 2016)
- 3) ESS (European Spallation Source) expressed the interest in a collaboration with RDS\_SPES in rad-hard activities with neutrons. A MoU is in preparation.
- 4) James Walker Co. (UK) expressed the interest in a collaboration for project of testing and development of rad-hard polymeric materials. A research contract is in discussion.
- 5) Hayakawa Rubber Company (J) expressed the interest in testing their radiation resistant materials in mixed fields. At present in stand by.







## Threshold of radiation damage – End points



- Threshold radiation dose for polymers is a very important (for engineers) and poorly defined concept; it is the problem of end point definition
- A principal threshold generally used is defined as the nuclear radiation dose required to cause 25% deterioration of a given (most radiation-sensitive) property of the material
- Applying this definition to E@B, no tested materials would fit SPES requirements

#### Starting O-RING Project at Brescia University and LNL

- 1) Experimental characterization of the radiation induced modification in the constitutive law for a selected elastomeric material
- 2) Calculation by FEM of the behavior in service of a specific component (Oring), at different levels of absorbed dose, up to failure
- 3) Experimental validation of the theoretical predictions by a mechanical testing device equipped with O-rings irradiated in reactor  $n+\gamma$  fields





FEM calculation of pressure distribution inside an O-ring in service 10 maggio 2016







# Simulation of O-ring degradation versus dose







#### Progressive change in sealing contact pressure and in maximum O-ring stress

10 maggio 2016

Consiglio di Sezione - A. Lanza



# Leakage test instrumentation at LNL







## Activation and dosimetry calculations in the SPES Front-End: MCNPX+CINDER



- Neutron and proton-induced activation on the Front-End components needs to be calculated for the estimation of environmental dose values after the machine shutdown and the target removal.
- To design of the critical components of the Front-End to minimize activation and doses (nuclearization);
- To safely plan maintenance and intervention operations.



SPES Front-End model realized with MCNPX

The calculation process includes 4 successive steps:

- 1) MCNPX : calculation of proton and neutron fluxes in the F-E components;
- 2) CINDER: nuclides evolution and activity calculations for a specific time history;
- 3) CINDER: production of a multigroup gamma source placed in the activated cells representing gamma decays at a specific time;
- 4) MCNPX: the old proton source is replaced by the new gamma source to perform dosimetry calculations due to activation at give time and accounting for history.



Nuclide evolution calculation: a multi-cycle activation example (step 2)





- Activation calculation on graphite collimators placed in the proton line: activity is mainly due to proton interaction
- Each cycle: 15 day machine ON + 15 days shutdown After the 10<sup>th</sup> cycle: 6 months shutdown

 Total activity: sum of all the contributions from any radioactive isotope produced by proton and neutron interactions 10 maggio 2016



# Dosimetry calculation in the SPES bunker due to gamma activity (step 4)



- Proton source removed, gamma source, related to gamma activity, placed in every activated cell of the Front-End
- Equivalent gamma dose calculated for 1 operational cycle and after 15 days of shutdown
- Occupational times for workers can be determined according to the foreseen Italian limits of supplementary dose (1.0 mSv/year for ordinary workers)



Target unit (removed)



## Reports and presentations of RDS\_SPES results



- 1) Master Thesis A. Testa University of Brescia (July 2015)
- 2) M. Ferrari et al., SPES-Note-WPB06\_04\_0002 (Sept. 2015)
- 3) M. Ferrari et al., Congresso SIF, (Sept. 2015)
- 4) M. Ferrari et al., Forum giovani ricercatori INSTM, Ischia, (July 2016)
- 5) D. Battini et al., AIAS 2016, Trieste, (Sept 2016)

# **SPARE SLIDES**



## Report of the SPES Technical Advisory Committee, LNL October 26-27, 2015



Report of the SPES Technical Advisory Committee Third meeting held at LNL Legnaro on October 26-27, 2015. Present: Y. Blumenfeld (Chair), R. Catherall, R. Ferdinand, L. Miralles, M. Pelliccioni, D. Rifuggiato Excused: P. Fabbricatore Observers: G. Bisoffi, G. Prete

#### Elastomer research

A collaboration has been set up with the University of Brescia to address the performance of elastomer components under the influence of exposure to a neutron fluence. In view of the continual change in elastomer development, it is important to gain recent knowledge of their performance under such conditions. The choice of elastomer can be a potential weak point in the failure of a target and frontend and using tested elastomers will enhance target and FE performance.

The panel encourages the continuation of this collaboration.



# La realizzazione della Fase 1 della XPR del CNAO nell'ambito del progetto IRPT dell'INFN

# Cosa è IRPT

Progetto premiale approvato da MIUR: parte dei fondi FOE indivisi ridistributi agli Enti di Ricerca finalizzati ad attività riconosciute come rilevanti.

**IRPT (Innovation in Radio and Particle Therapy)** proposta nata da molti dei gruppi INFN che da anni sono attivi su questo tema (in gran parte la sigla RDH della CSN5, più altri) con lo scopo di reperire fondi che altrimenti non sarebbero stati disponibili: al limite alleggerire la CSN5 da richieste che sarebbe stata costretta a tagliare



- Studio terapia dell'occhio
- Evoluzione piani di trattamento in adroterapia
- Imaging per adroterapia (pCT)
- Imaging per monitoring di adroterapia (range control, PET)
- Monitoring per fasci terapeutici di alta intensità
- Dosimetria a diamante per RT
- Radiobiologia dei trattamenti combinati chemio-adroterapici (qui (qui ))

#### (quasi tutte attività già in collaborazione con CNAO)

- Fase 1 della realizzazione area ricerca al CNAO
- Contributo per l'inizio dell'attivià a TIFPA (Trento) di M. Durante (inizio 2015)
# Finanziamento

XPR Copertura costi - Fase 1					
A carico INFN dal Premiale IRPT per HEBT e Sorgente (120 kl	Euro) 2500 000				
A carico CNAO in componenti spare per HEBT	565 000				
A carico INFN dal Premiale IRPT per anticipo SO3-AISHa (Fas	se 2) 470 000				
	Include necessariamente				
	fondi per missioni				

 Ia nuova Sorgente AISHA
Finanziamento consistente, nei limite del possibile, per cominciare a concretizzare ai LNS-INFN la realizzazione della nuova sorgente.

**IRPT per la Fase 2:** 

 Molto interesse per la disponibilità di un fascio di test al CNAO è alimentato dalla possibilità di avere altre tipologie di nuclei accelerati

# Tasks previsti

- Task #1 Coordinamento delle fasi di realizzazione, installazione e allineamento.
- Task #2 Magneti convenzionali e misure magnetiche
- Task #3 Alimentatori
- Task #4 Sistema da vuoto
- Task #5 Diagnostica di fascio
- Task #6 Dose Delivery
- Task #7 Sistema di controllo
- Task #8 SIS
- Task #9 Supporto tecnico logistico
- Task #10 Impianti Elettrici
- Task #11 Impianti Meccanici
- Task #12 Integrazione e compatibilità con il Sincrotrone
- Task #13 Commissioning
- Task #14 Nulla osta all'esercizio
- Task #15 Sicurezze

# Lavori nella Sala XPR

#### Il muro di 30 cm in CA in sala XPR è stato realizzato.



# Lavori nella Sala XPR

#### Il muro di 30 cm in CA in sala XPR è stato realizzato.



# Lavori nella Sala XPR

- Altri lavori-richiesta di ordini in sala XPR sono stati sospesi per evitare di ritardare minimamente quelli, assolutamente prioritari, che sono legati ai fermi dei trattamenti.
- Anche alcuni di questi sono diventati urgenti: foratura dei muri per il passaggio dei cavi elettrici.
- Ripartiremo immediatamente dopo che saranno fatti gli ordini urgentissimi.

### Lavori in sala Sincrotrone

- Il 2- 3 Luglio 2015 è stato tracciato l'asse della HEBT
- Il 23 Ottobre 2015 è stato completato lo spostamento e la coibentazione dei tubi vicino al muro per poter poi installare il girder lungo.
- Sabato 23 gennaio 2016 è stato tolto il pilastro che era sull'asse della linea XPR e sono stati fissati, nella loro posizione finale, i piedi dei girder.

### Lavori in sala PS.1

- Nel Mese di Febbraio il Gruppo di Daniel Fiocchi ha montato i girder.
- Stefano Sironi è sempre il punto di riferimento per tutte le istallazioni ed integrazioni delle progettazioni sue, di Santi Passarello, Lorenzo Lanzavecchia, etc.
- Ieri abbiamo iniziato a posizionare i componenti (quadrupoli) sul girder lungo, per un primo allineamento con la "livella automatica".

#### Allineamenti



L'allineamento sarà fatto in sala P.S. 1 con la "livella automatica".

E' necessario che il gruppo di Luigi Pellegrino dei LNF sia disponibile ad aiutarci, in uno-due giorni in cui sarà possibile accedere al Sincro, facendo l'allineamento finale con il Laser Tracker.

#### Pseudo planning

Sto cercando, insieme con Lorenzo, di dare ad Agostino Lanza, la possibilità di ordinare su MEPA, gli elementi fondamentali per completare l'assemblaggio del girder lungo.

L'obiettivo è quello di installare in sala Sincro il girder lungo assemblato e preallineato nel fermo 14 Aprile (sarà molto difficile) oppure in quello del ponte del 2 Giugno (Dr.a Valvo deve confermare, se sarà possibile) o di manutenzione del 14 Luglio 2016.

La priorità è data ai lavori degl'impianti elettrici.

#### Situazione richieste di ordini

Data richiesta	Data richiesta	Descrizione		l mporto stimato	Data ordine	Data ordine	l mporto effettivo	Data prima	Data seconda	Data fine lavori
CNAU-Lan.				275 000 00	sumata		075 000 00	consegna	consegna	
29/10/14	03/11/14	DDS a fornitore unico		275.000,00	05/03/15	15/03/15	275.000,00			05/10/15
10/10/14	10/11/14	Magneti correttori		115.000,00	10/06/15	28/07/15	98.190,40			30/04/16
09/01/15	19/01/15	> Alimentatori per magneti quadrupoli		242.000,00	19/07/15	19/01/16	123.596,00			11/07/16
09/01/15	19/01/15	> Alimentatori per magneti correttori		82.500,00	19/07/15	19/01/16	83.996,00			11/0//16
10/10/15	18/10/15	Impianti elettrici		85.000,00	10/06/16			16/07/16	15/10/16	222
23/10/15	xx/10/2015	SIS a formitore unico		140.000,00	30/06/16			16/07/16	15/10/16	222
		Condizionamento sala XPR								<u>???</u>
19/10/15	20/10/15	Camere AISI 316 (Strea	as) su MEPA	39.000,00	15/04/16					
19/10/15	20/10/15	Beam stopper (VCS	S) su MEPA	38.125.00	15/04/16					
19/10/15	20/10/15	Camere in Al (CEC	ÓM) su MEPA	42.700.00	18/03/16					
19/10/15	20/10/15	Rivelatori SFP (Cottimo fidu	uciario con 5 ditte)	42.700,00	15/04/16					
19/10/15		Ordine Siemens su MEPA		21 883 88	07/03/16					
10/02/16		Banco X-Y-Z regolabile (COS	SEAP) su MEPA	12.078,00	07/03/16					
10/02/16		*DF PROFINET IO - CPCL (	(ST Automazione)	1 700 00						
10/02/16		Serbatojo jnov 24lt-11 bar	(Sogeac) + 2 Diffe	366.00						
10/02/16		N 2 right angle value	(Oerlikon)	829.60						
10/02/16		N 2 testa attiva ttr 91 s	(Oerlikon)	485 56						
10/02/16		Alimentatore TPM	(Oerlikon)	1 600 64						
10/02/16		** Raccorderia da vuoto	(Streas) su MEPA	6.100,00						
28/01/16		Ordine Profilati ITEM		10 854 97						
28/01/16		Guide lineari		2 000 00						
28/01/10		Viteria		2.000,00						
20/01/10		Piastrone da fissare a terra		500,00						
		Botola sala XPR								

Fermi per installazioni in Sincro nel 2016

. ◆ 21/01/2016 - 23/01/2016 soltanto perché il gruppo di fiocchi era impegnato nelle manutenzioni trimestrali.

14/04/2016 - 16/04/2016

14/07/2016 - 18/07/2016

13/10/2016 - 17/10/2016

La Dr.a Valvo ha dato la possibilità, da confermare a metà Maggio, di un possibile stop dei trattamenti per il ponte del 2 Giugno ed io spero anche per quello dell'Immacolata.

Questi fermi sono importanti sia in valore assoluto (giorni in più) sia perché il personale non sarebbe impegnato nella manutenzione ordinaria programmata trimestralmente.

### Lavori in sala Sincrotrone

Se i fermi straordinari permetteranno di lavorare in sala Sincro, gl'impianti elettrici saranno sicuramente completati entro il 2016.

Per il SIS, stiamo lavorando per riuscire a completarlo (famigerata check list) entro il 2016, ma sarà difficile: Pullia e Radioprotezione sono scettici.

Il problema della riparazione del dipolo a 90°, potrà aiutare a dare più tempo a questi lavori oppure no?

Il tempo necessario per il commissioning della nuova linea XPR è tutta un'altra storia del 2017, che necessiterà qualche settimana di tempo dedicata.

top