



SPES MED

Project Proposal for INFN CSN3 Experiment 2023

Principal Investigator

Prof. Emilio Mariotti, INFN-PI.

INFN Research Units

Pisa, Padova, LNL, Milano.

Research Fields

Nuclear Physics, Medical Radionuclides, Cross Section Measurements, Radiation Detectors.

Duration

3 years.



The SPES Project

The **SPES** project (**S**elective Production of **E**xotic **S**pecies)

SPES- α

The cyclotron and related infrastructure

SPES- β

the ISOL facility and the acceleration of neutron-rich unstable nuclei

SPES- γ

The production of radionuclides for applications

SPES- δ

The multidisciplinary neutron sources

ISOLPHARM
SPES exotic beams for medicine

&



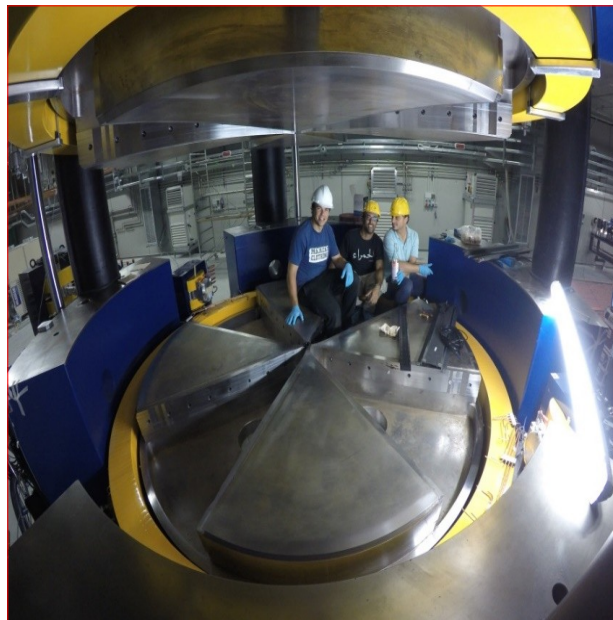
SPES- α : Acquisizione del ciclotrone e realizzazione dell'infrastruttura



High Power Cyclotron:

Several application at LNL

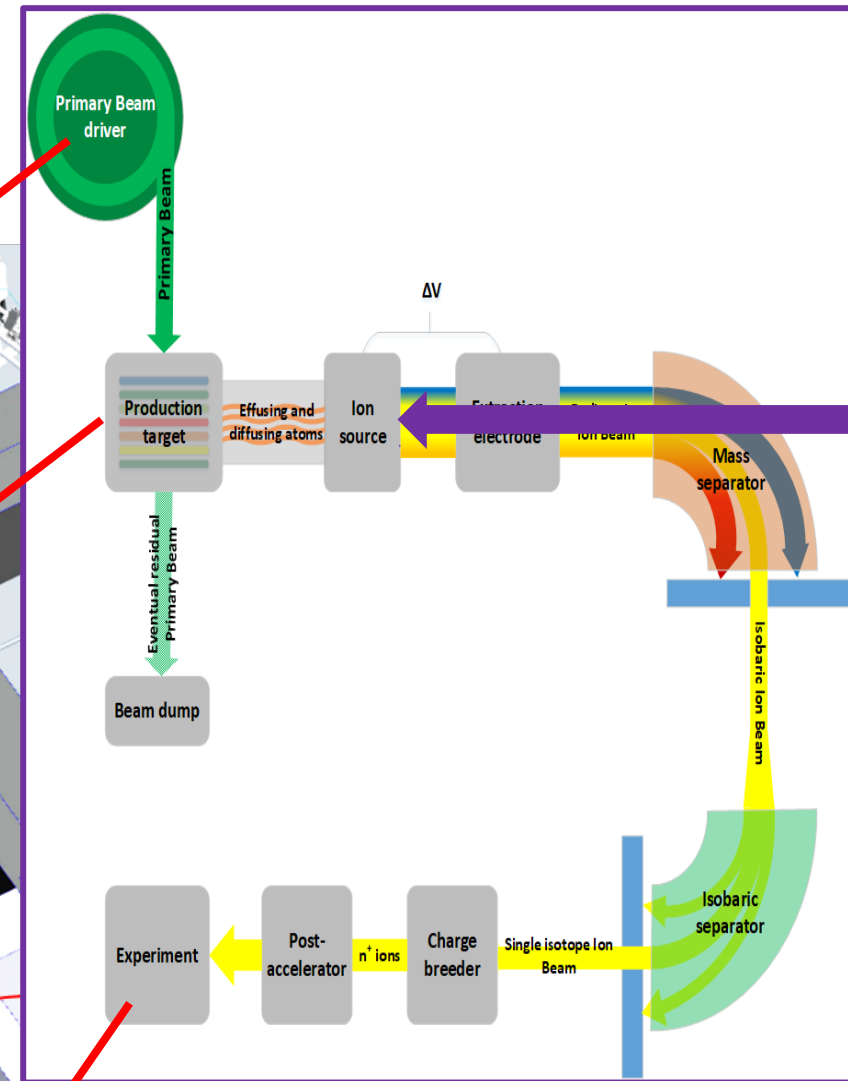
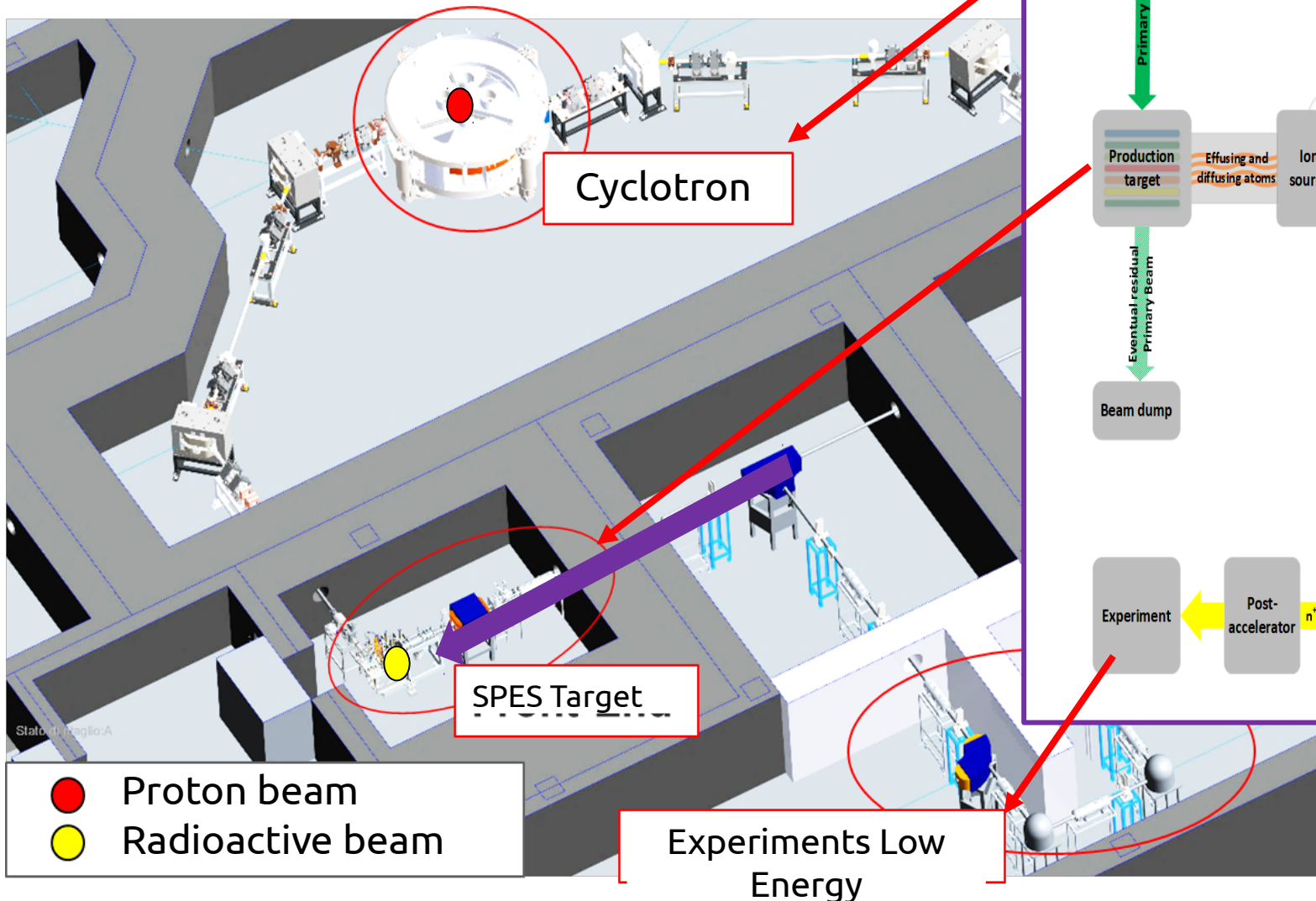
- ✓ Fundamental Research:
 - SPES and its phases
 - ...
- ✓ Applied Research
 - Medical application



Main Parameters	
Accelerator type	Cyclotron AVF with 4 sectors, Resistive Magnet
Particle	Protons (H^+ accelerated)
Energy range	35-70 MeV
Max Current Intensity	700 μA (variable within the range 1 μA -700 μA)
Extraction	Dual stripping extraction
Max Magnetic Field	1.6 T ($B_0 = 1$ T)
RF System	nr. 2 delta cavities; harmonic mode=4; $f_{RF} = 56$ MHz; 70 kV peak voltage; 50 kW RF power (2 RF amplifiers)
Ion Source	Multi-cusp volume H^+ source; $I_{ext} = 8$ mA; $V_{ext} = 40$ kV; axial injection
Dimensions	$\Phi = 4.5$ m, $h = 2$ m, $W = 190$ tons

SPES- β : realizzazione di una ISOL facility e accelerazione di nuclei instabili neutron-rich

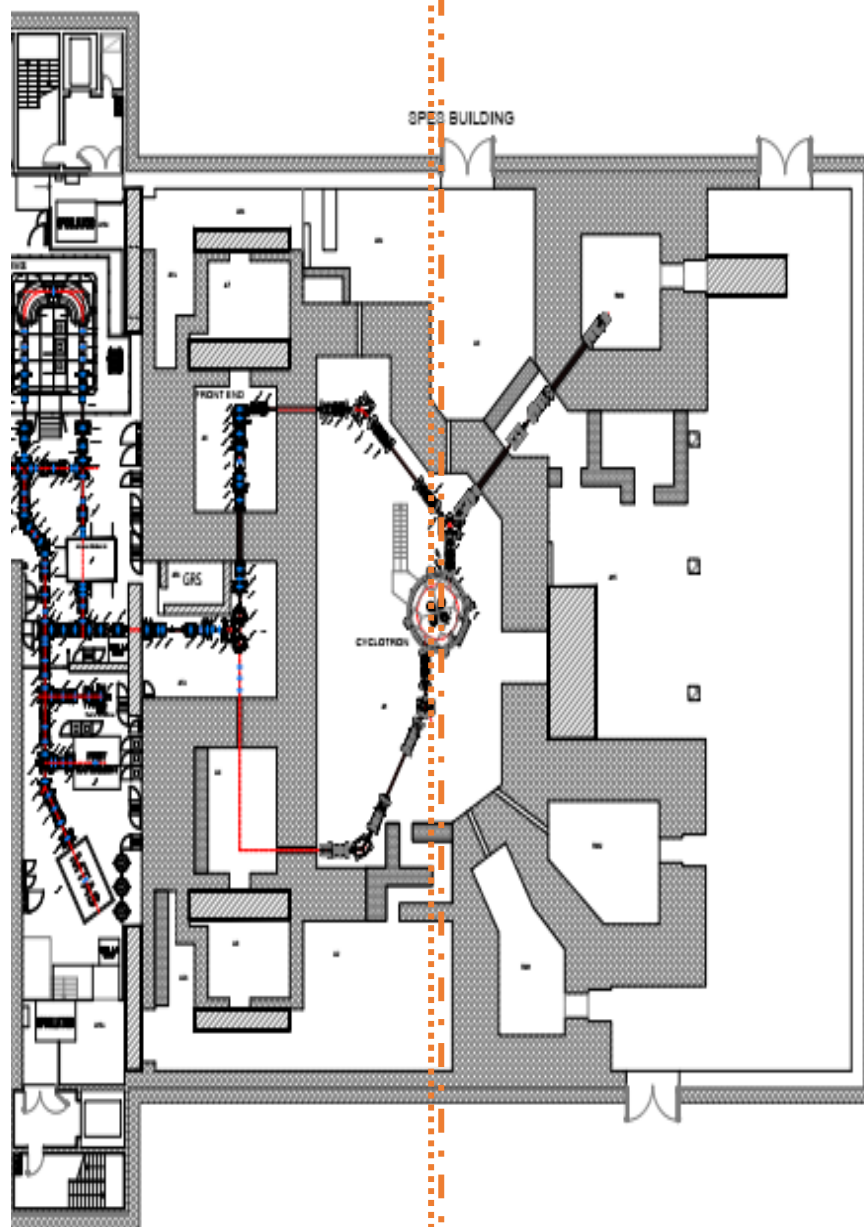
ISOL: Isotope Separation On Line
from Cyclotron through Target to Experiment



SPES- γ : Produzione di radionuclidi per le applicazioni

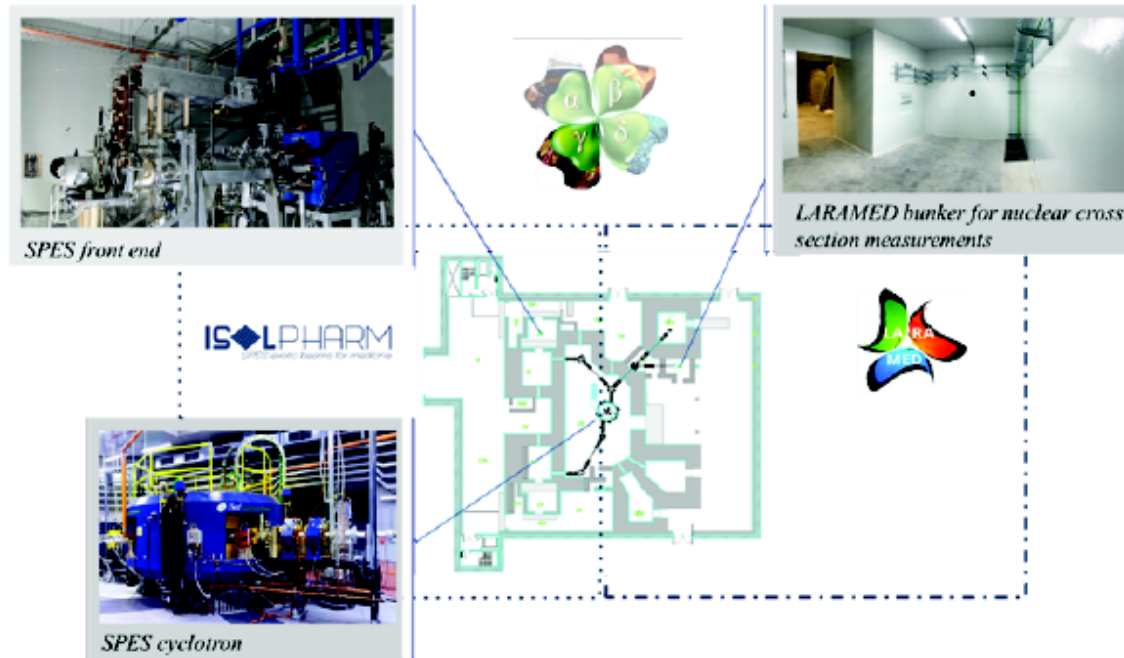
ISOLPHARM
SPES exotic beams for medicine

Production of
Medical-Radio-Isotope
using the
ISOL technique



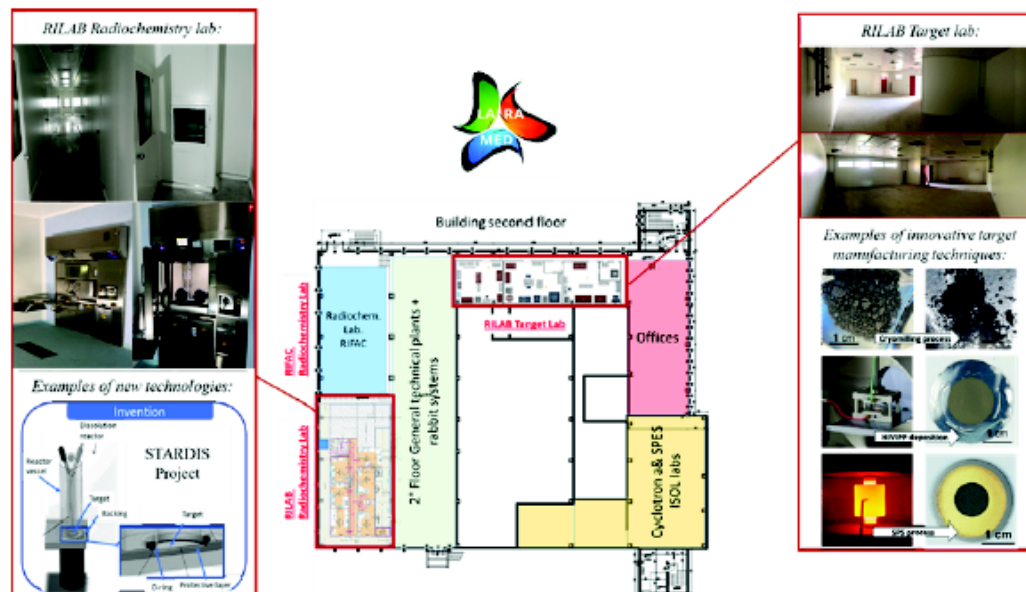
Direct production of
Medical-Radio-Isotope
using the
Cyclotron

SPES- γ : Produzione di radionuclidi per le applicazioni



Due bunker per l'irraggiamento:

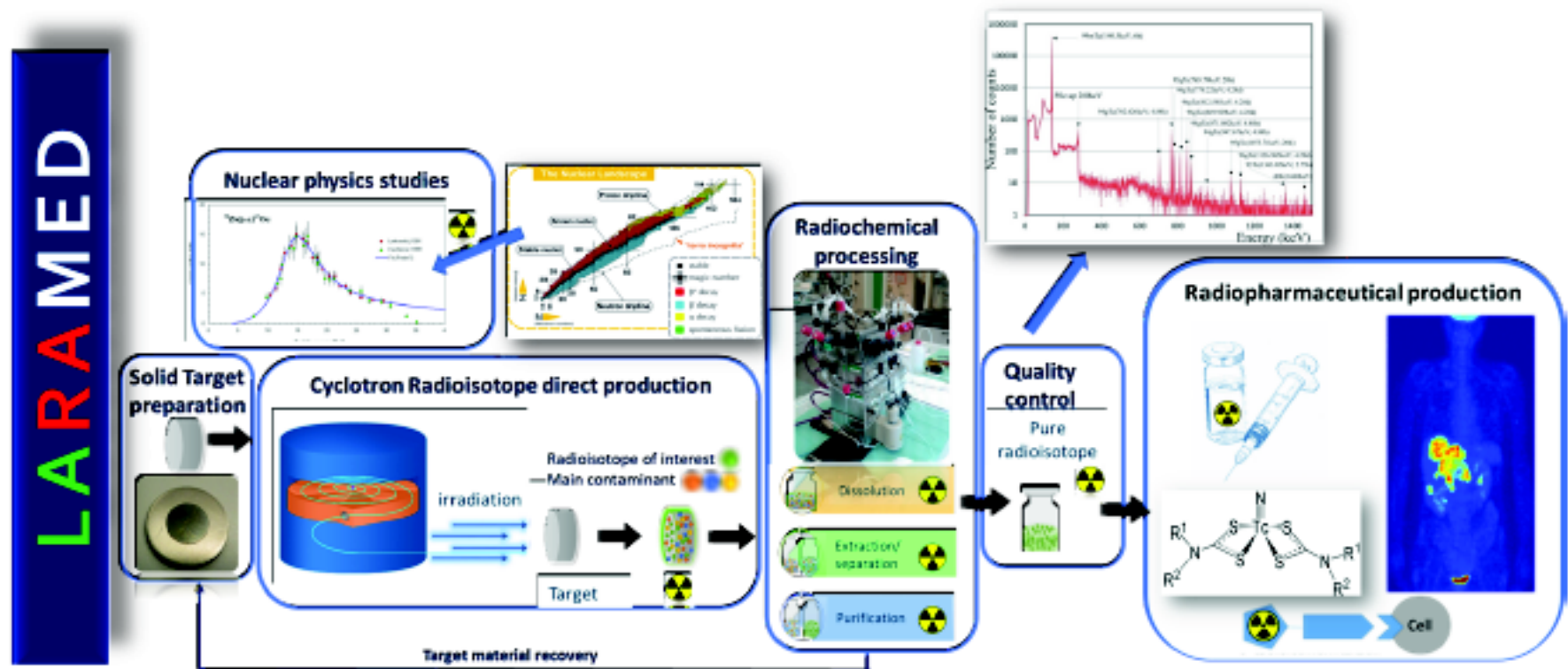
1. misure di sezioni d'urto nucleari per fasci di protoni $< 100 \text{ nA}$
2. irraggiamento di bersagli solidi ad alta intensità



Due laboratori al secondo piano:

1. preparazione bersagli
2. radiochimica, R&D per produzione, separazione/purificazione

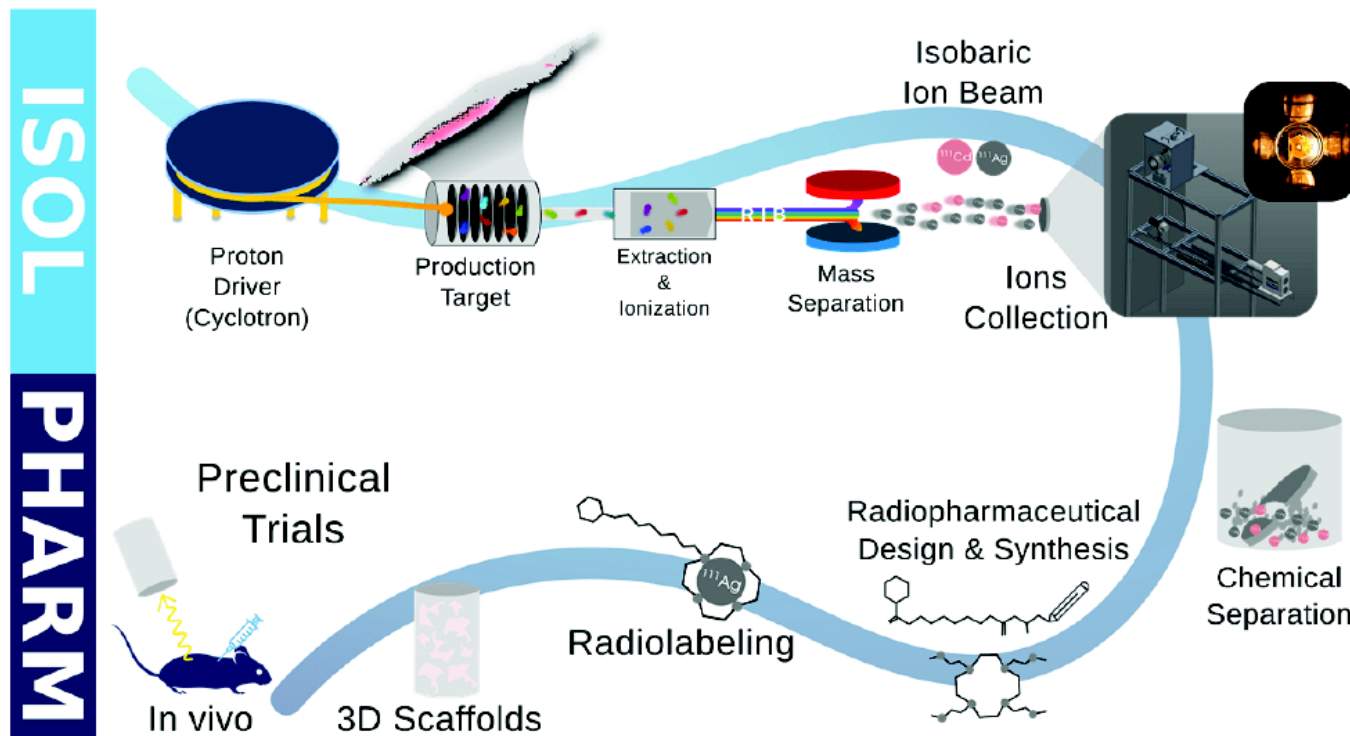
SPES- γ : Produzione di radionuclidi per le applicazioni



Tecnologia dei bersagli, Fisica Nucleare fondamentale, Radiochimica, Radiofarmacia, Sviluppo tecnologico, modellizzazione del nucleo, dosimetria computazionale

^{99m}Tc , ^{67}Cu , ^{47}Sc , ^{52}Mn , ^{155}Tb , tra gli altri

SPES- γ : Produzione di radionuclidi per le applicazioni



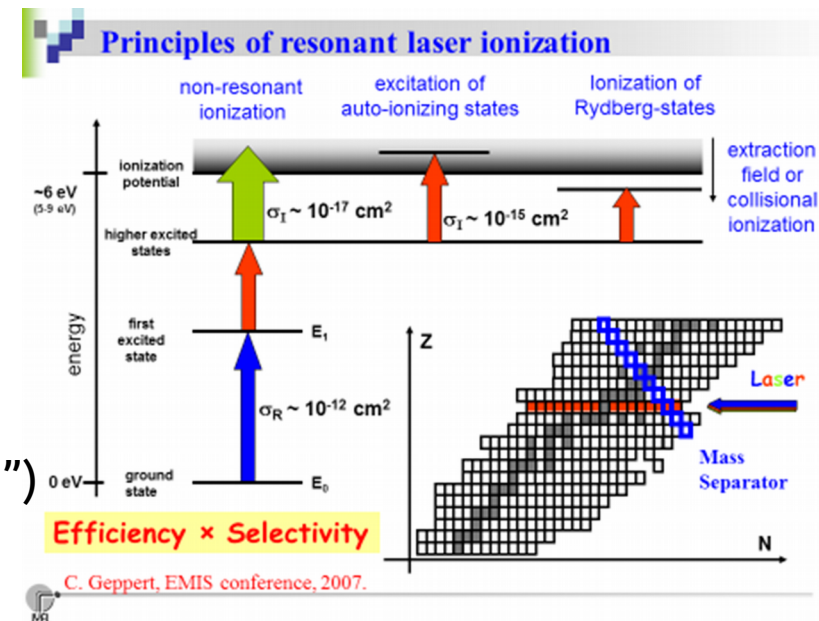
Brevetto internazionale INFN

Ottimo livello di purezza radioisotopica ottenibile

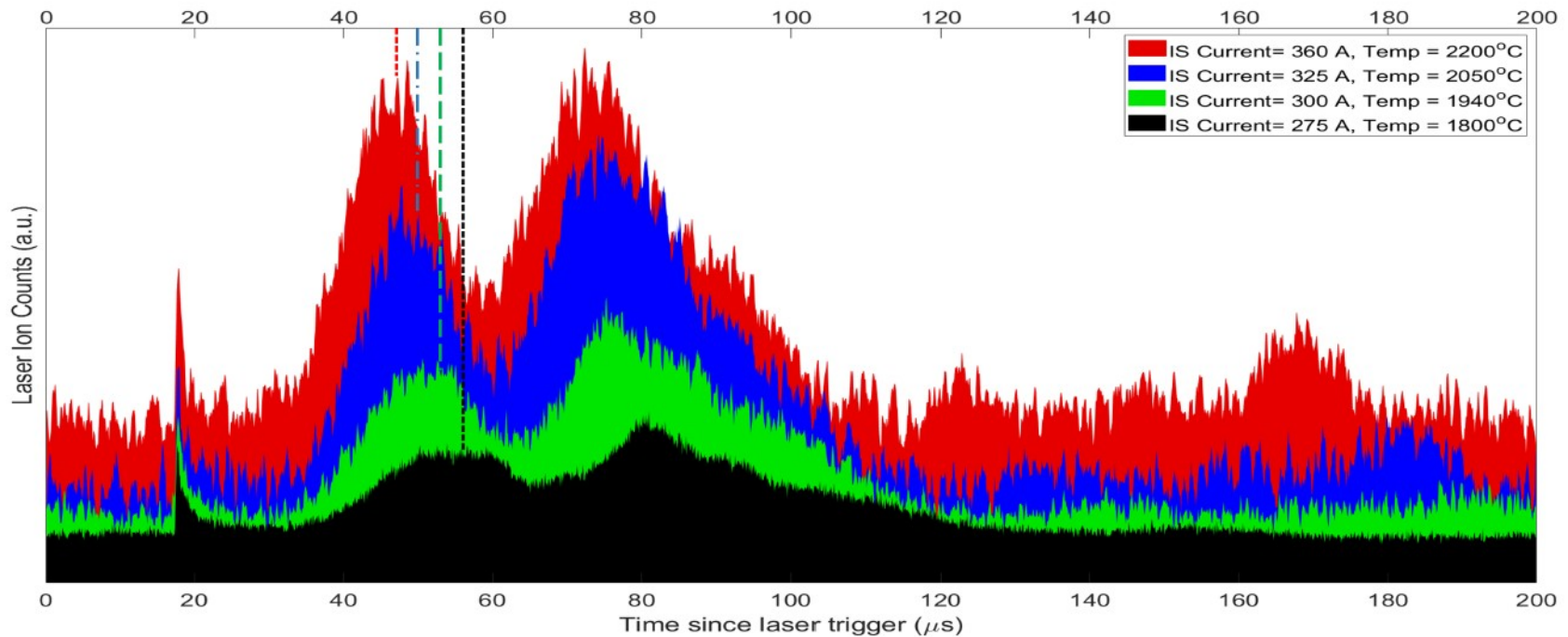
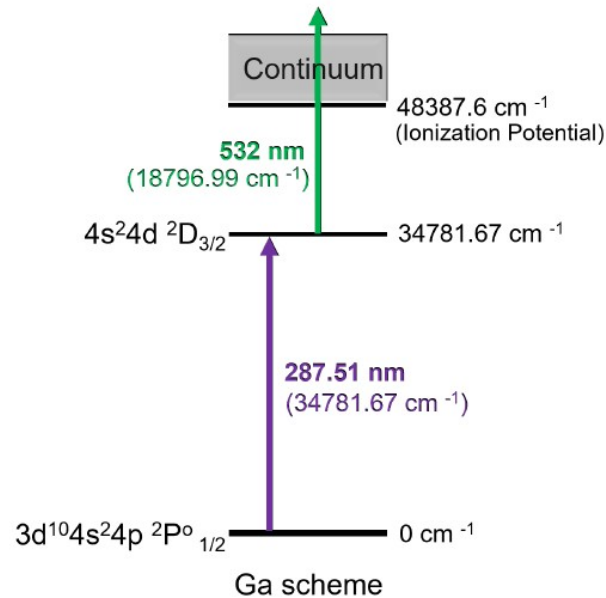
Bersagli poco costosi e in grado di popolare varie regioni della carta dei nuclidi

(10^{13} fissioni/s @ 40MeV, 200 μ A di fascio di protoni
60 isotopi con emivite e proprietà di decadimento "adatte")

^{111}Ag



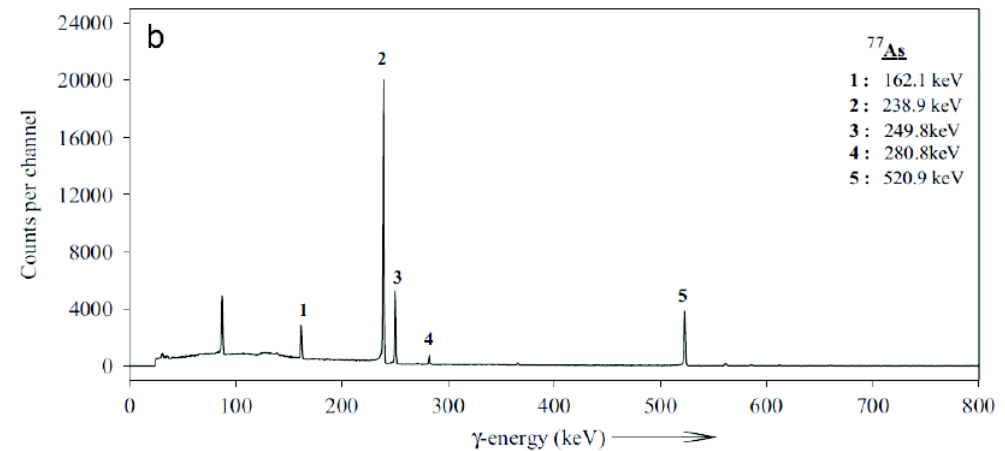
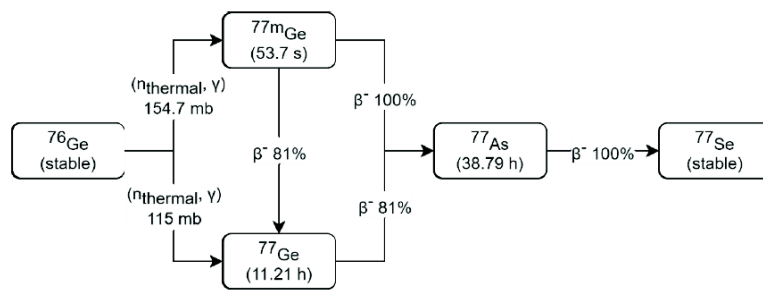
SPES- γ : Produzione di radionuclidi per le applicazioni



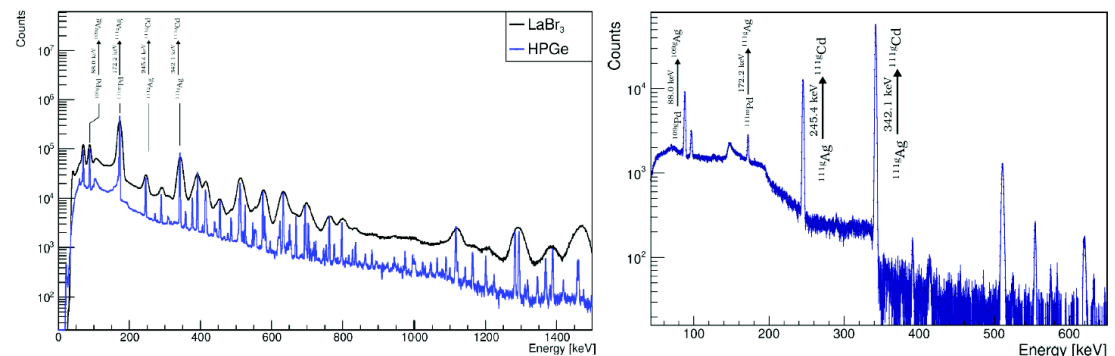
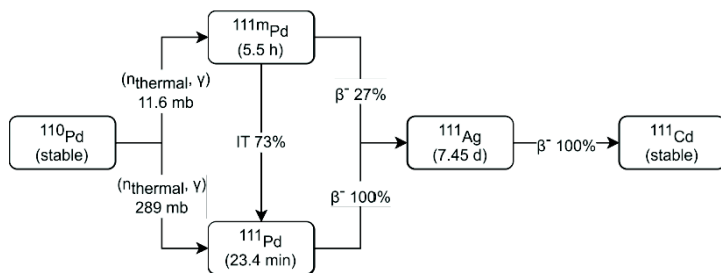
SPES_MED: Scopi e metodologie di ricerca

Studio delle proprietà di radionuclidi promettenti per le applicazioni mediche:

^{77}As , emettitore β^- ($E_m = 228.8 \text{ keV}$, 97%) e γ (239.01 keV, $I_\gamma = 1.59\%$; 520.65 keV, $I_\gamma = 0.56\%$), in medicina nucleare possibile isotopo terapeutico, prodotto per cattura neutronica dal Ge



^{111}Ag , emettitore β^- ($E_m = 360.4 \text{ keV}$, 92%) e γ (342.13 keV, $I_\gamma = 6.7\%$; 245.40 keV, $I_\gamma = 1.24\%$), Targeted Radionuclide Therapy (TRT), SPECT Imaging, prodotto per cattura neutronica dal Pd



SPES_MED: Scopi e metodologie di ricerca

^{67}Cu , emettitore β^- ($E_m = 141$ keV) e γ (93 keV, 185 keV), Targeted Radionuclide Therapy (TRT), Single-Photon Emission Computed Tomography (SPECT) imaging

	Half-Life	Main γ -ray Energy, Intensity (keV) (%)	Mean β^+ Energy, Intensity (keV) (%)	Mean β^- Energy, Intensity (keV) (%)	Auger and IC Electrons
^{67}Cu	61.83 h	184.577 (48.7)	-	141 (100)	Yes
^{64}Cu	12.701 h	1345.77 (0.475)	278 (17.6)	191 (38.5)	Yes
^{61}Cu	3.336 h	282.956 (12.7) 656.008 (10.4)	500 (61)	-	Yes
^{60}Cu	23.7 m	826.4 (21.7) 1332.5 (88.0) 1791.6 (45.4)	970 (93)	-	Yes

isotopi del Tb

^{149}Tb ($T_{1/2} = 4.1$ h), emettitore β^+ e α ($E_m = 3967$ keV, 17%), radioterapia α e studi PET

^{152}Tb ($T_{1/2} = 17.5$ h), emettitore β^+ ($E_m = 1080$ keV, 17%), PET Imaging

^{155}Tb ($T_{1/2} = 5.32$ d), emettitore γ (86.55 keV, 32%; 105.3 keV, 25%), SPECT imaging

^{161}Tb ($T_{1/2} = 6.89$ d), emettitore β^- e γ (25.65 keV, 23.2%; 48.92 keV, 17%; 57.19 keV, 1.8%, 74.57 keV, 10%),

SPES_MED: Scopi e metodologie di ricerca

- Misura di reazioni nucleari non ancora esplorate, considerando la produzione del radionuclide di interesse e dei suoi contaminanti, per trovare i migliori parametri di irraggiamento.
- La spettroscopia γ dettagliata dei radioisotopi e dei contaminanti attesi nei processi di attivazione diretta e ISOL, in particolare per schemi di decadimento complessi
- Valutazione dei rivelatori migliori per l'analisi dei picchi γ , considerando prestazioni e costi; determinazione di un protocollo di spettroscopia γ adattato su ogni radioisotopo, a partire da spettri e catene di decadimento, per determinare la resa totale e il grado di contaminazione, guidare la separazione radiochimica e garantire la qualità del prodotto finale.
- Utilizzo dei nuovi dati sperimentali per migliorare le librerie e i modelli teorici, in particolare nelle regioni di energia bassa e intermedia, cruciali per la produzione di radionuclidi.

SPES_MED: Misure proposte

^{67}Cu

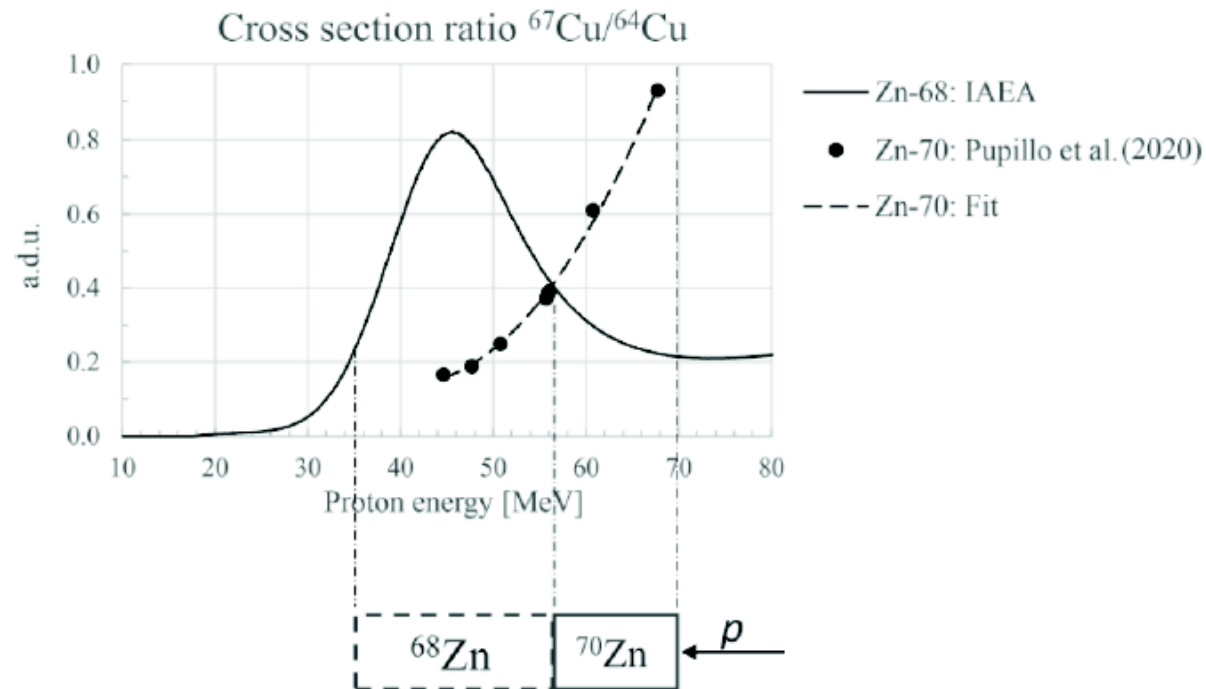
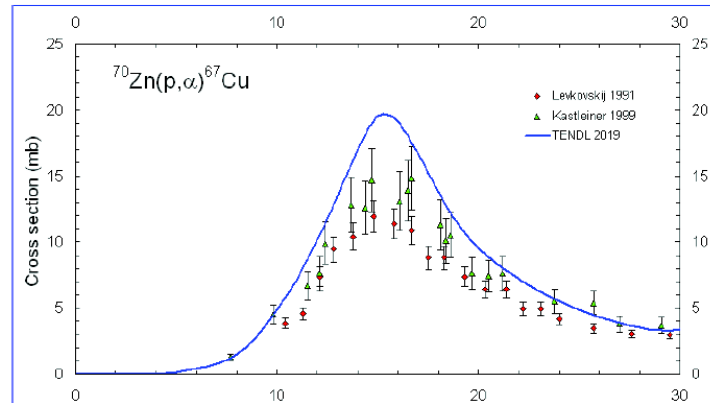


Figure 2.2: Plot of the nuclear cross section ratio for the production of ^{67}Cu and ^{64}Cu radionuclides, outcome of the COME project: the continuous line is the IAEA recommended value for ^{68}Zn targets [55]; the dashed line refers to the measured values for ^{70}Zn targets [18]. The vertical dashed lines refer to the favorable energy range for ^{67}Cu production. A scheme of the multi-layer target configuration described in the international INFN patent [56] is shown at the bottom.

Tb

Per la reazione $^{160}\text{Gd}(d,n)^{161}\text{Tb}$ non esistono dati in letteratura

La produzione secondo questa reazione potrà essere confrontata con quella che costituisce attualmente il metodo più promettente nella produzione di terbio:



Lo studio effettuato con fasci di deuteroni permetterà il confronto con quella ottenibile a SPES con i protoni

SPES_MED: Misure proposte

WP1: Misure di sezioni d'urto nucleari

Responsabile INFN-LNL

● $^{70}\text{Zn}(p,x)^{67}\text{Cu}, ^{64}\text{Cu}$ con $25\text{MeV} < E < 50\text{MeV}$, in collaborazione con ARRONAX (LNL team);

● $^{68}\text{Zn}, ^{70}\text{Zn}(p,x)^{67}\text{Cu}, ^{64}\text{Cu}$ per fasci protonici con $E > 70\text{ MeV}$, in collaborazione con i-Themba (LNL team);

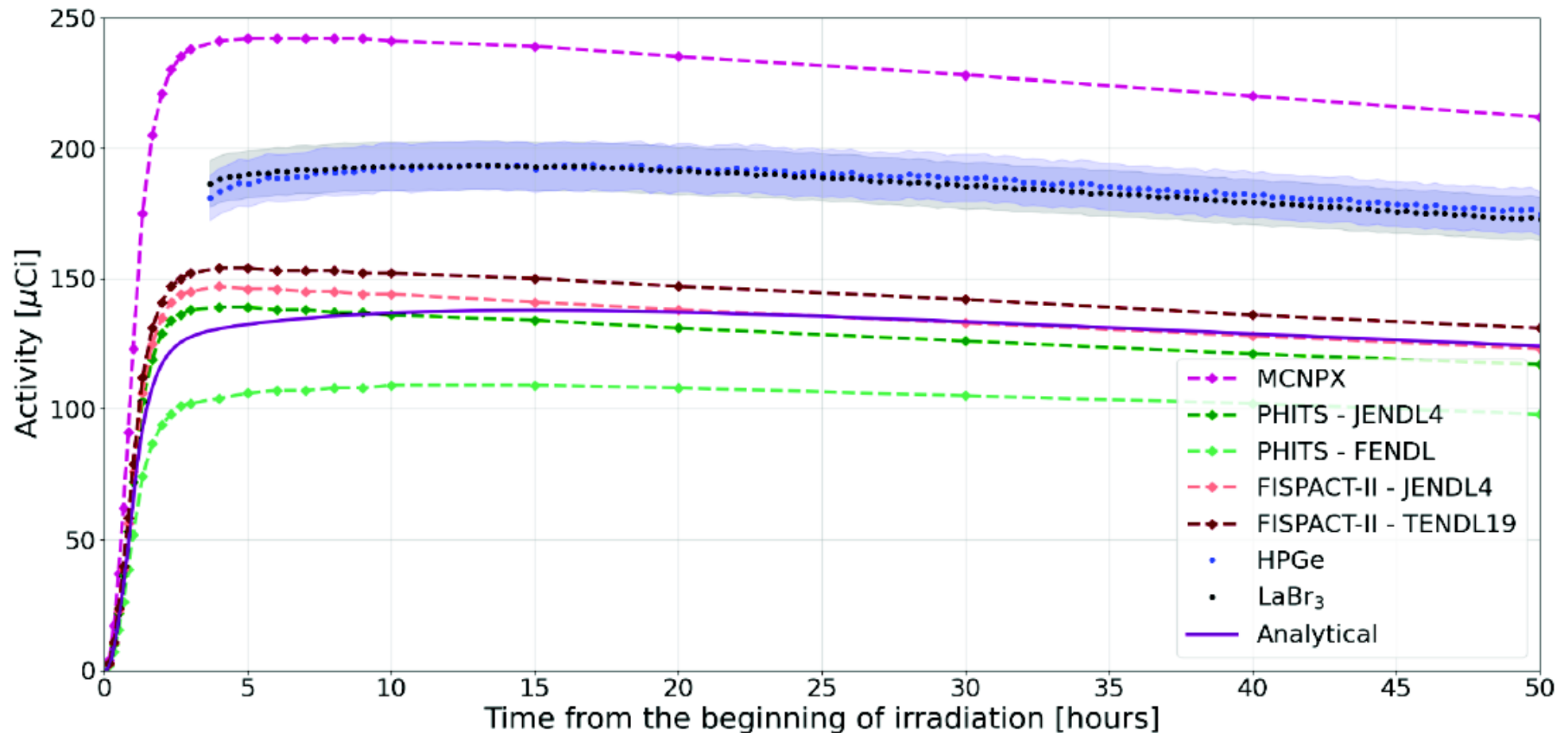
● $^{160}\text{Gd}(d,n)^{161}\text{Tb}$, con $10\text{MeV} < E < 35\text{ MeV}$, in collaborazione con ARRONAX (MI Team);

● $^{\text{nat}}\text{Gd}(p,x)^{152,149}\text{Tb}$, con $50\text{MeV} < E < 70\text{ MeV}$ in collaborazione con ARRONAX e E fino a 200 MeV in collaborazione con i-Themba (MI team).

Installazione, messa in opera e caratterizzazione della SPES beam line dedicata a misure di sezione d'urto nucleare con fasci di protoni (LNL team).

SPES_MED: Misura proposte

Ag, As



Spettroscopia gamma finalizzata a misure di radioattività

SPES_MED: Misure proposte

WP2: Produzione di radionuclidi e misure di spettroscopia γ

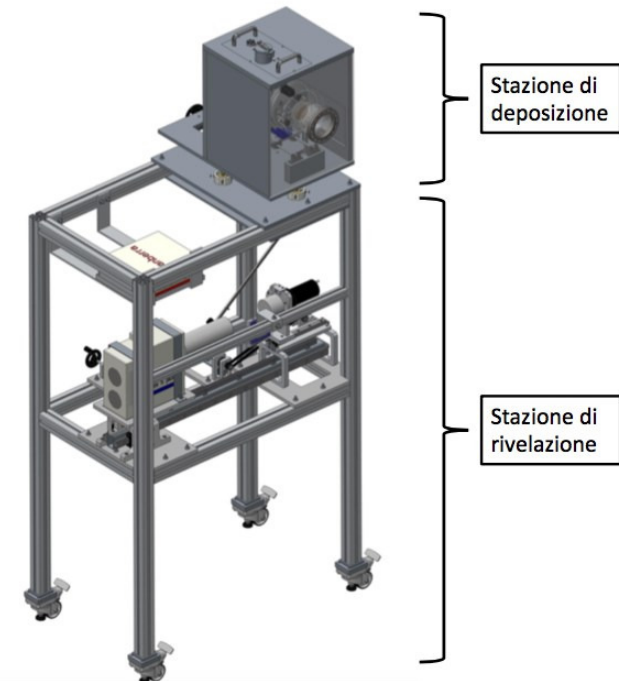
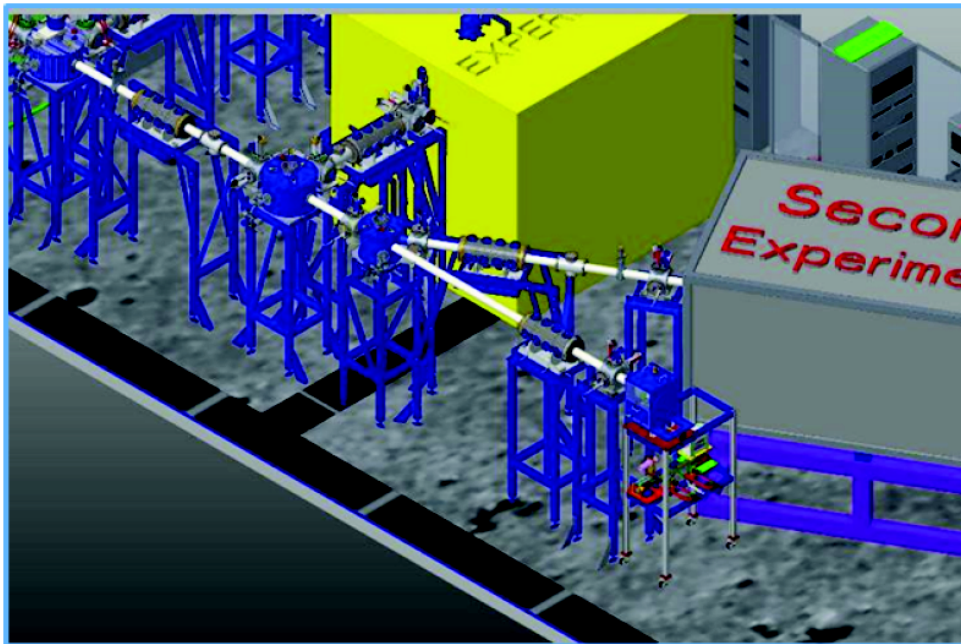
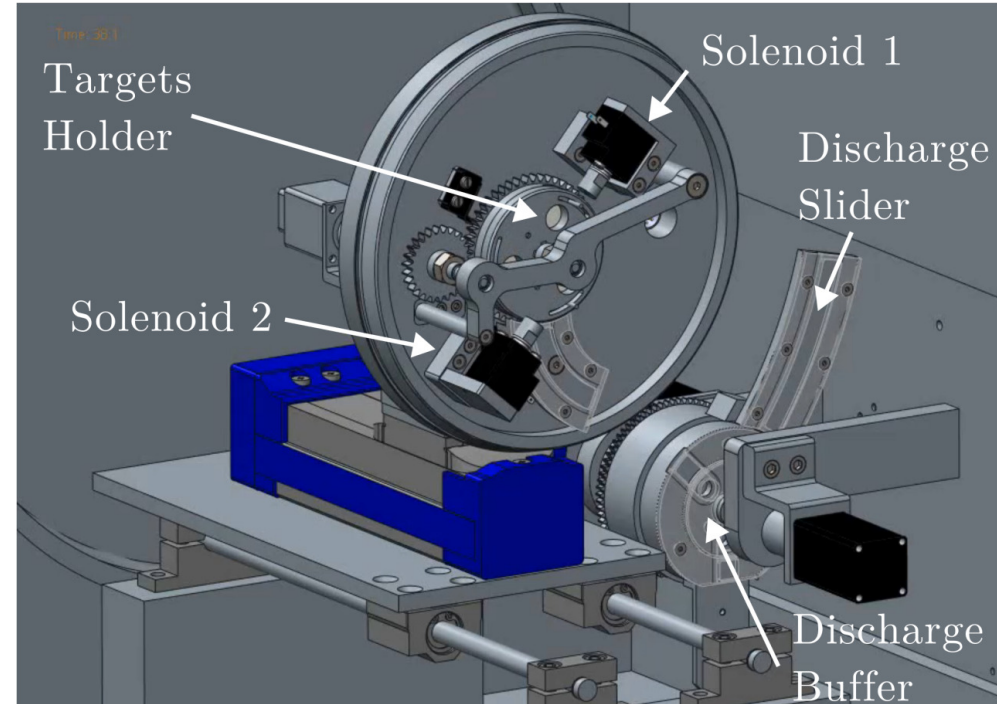
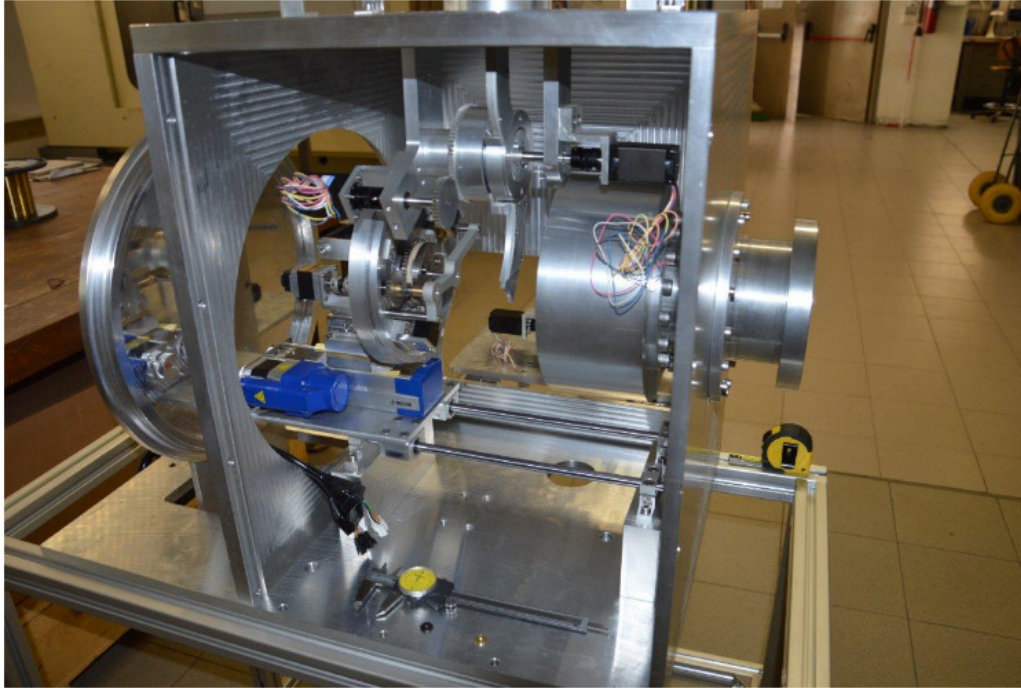
Responsabile INFN-PI

I anno: Valutazione preliminare di un protocollo per la caratterizzazione spettroscopica dei radionuclidi ISOLPHARM con sorgenti a INFN-LNL e INFN-PD.

II anno: produzione e misure di radioattività al LENA di Pavia. I risultati spettroscopici per ^{77}As , ^{111}Ag e i possibili contaminanti saranno usati nelle analisi successive, come i test radiochimici e radiobiologici e l'esperimento online a INFN-LNL quando il bersaglio di UC_x sarà installato.

III anno: per l'inizio delle attività di SPES, previsto con il bersaglio di SiC, le attività saranno orientate verso radionuclidi leggeri

SPES_MED: Misura proposta



SPES_MED: Misure proposte

WP3: Progetto e realizzazione del sistema di rivelazione

Responsabile INFN-LNL

Determinazione delle diverse strategie di rivelazione e dell'elettronica associata. Strumentazione versatile da accoppiare a IRIS per la implementazione del protocollo di spettroscopia gamma. Le caratteristiche del setup potranno essere trasferite come strumentazione di interesse generale ad altre facility ISOL.

SPES_MED: Misure proposte

WP4: Modelli teorici e simulazioni Monte Carlo

Responsabile INFN-PD

I risultati da calcoli analitici e da simulazioni con diversi codici Monte Carlo (Geant4, FLUKA, MCNP, PHITS) saranno di supporto per la molteplicità di esperimenti condotti in SPES_MED, per i diversi aspetti trattati in WP1, WP2 and WP3, in modo da favorire l'ottimizzazione dei parametri di irraggiamento per ottenere la massima produzione. Le attività verranno svolte coordinandosi con fisici medici per valutazioni dosimetriche e stabilire l'impatto del radionuclide e degli eventuali contaminanti sugli organi dei pazienti. Si utilizzerà CloudVeneto come cloud service.

SPES_MED: Personale coinvolto

PI			
Name	Expertise – Activity in the project	WP	FTE
Emilio Mariotti (National resp.)	Experimental physicist, associate professor	2,3	0.5
Pasquale Delogu (PI local resp.)	Experimental physicist, associate professor	2,3	0.5
Total PI FTE			1.0

LNL			
Name	Expertise – Activity in the project	WP	FTE
Gaia Pupillo (resp. locale)	Experimental physicist	1	0.7
Liliana Mou	Technologist	1	0.7
Juan Esposito	Technology executive	1	0.2
Sara Cisternino	Technologist	1	0.2
Daniele Scarpa	Electronical engineer, technologist	3	0.2
Alberto Andrichetto	Technology executive	3	0.2
Stefano Corradetti	Chemical engineer, technologist	3	0.2
Michele Ballan	Mechanical engineer	3	0.2
Alberto Arzenton	Physics PhD student at Siena University	4	1.0
Davide Serafini	Physics PhD student at Siena University	2,3	1.0
Andrea Gandini	Chemist, technologist	2	0.3
Giancarlo D'Agostino	Metrologist, researcher	2	0.5
Marco Di Luzio	Metrologist, researcher	2	0.5
Antonietta Donzella	Monte Carlo simulation, technologist	4	0.2
Total LNL FTE			6.1

PD			
Name	Expertise – Activity in the project	WP	FTE
Paolo Lotti (PD local resp.)	Theoretical physicist, researcher	4	0.5
Marcello Lunardon	Experimental physicist, associate professor	2	0.2
Daiyuan Chen	Physics PhD student at Padova University	2,4	1.0
Luciano Canton	Theoretical physicist, researcher	4	0.2
Laura De Nardo	Experimental physicist, researcher	4	0.2
Total PD FTE			2.1

MI			
Name	Expertise – Activity in the project	WP	FTE
Flavia Maria Groppi (MI local resp.)	Experimental physicist, associate professor	1	0.5
Michele Colucci	Physics PhD student at Milano University	1	1.0
Simone Manenti	Post-Doc at Milano University	1	0.6
Total MI FTE			2.1

Total project FTE			11.3
-------------------	--	--	------

SPES_MED budget

	Year 1	Year 2	Year 3	Total
	[k€]	[k€]	[k€]	[k€]
INFN Pisa				
Equipment (inv)	9	1	1	11
Consumables	2	18	2	22
Travels	2	7	11	20
TOTAL PI	13	26	14	53
INFN LNL				
Equipment (inv)	3	1	1	5
Consumables	27	9	8	44
Travels	24	30	22	76
TOTAL LNL	54	40	31	125
INFN Padova				
Equipment (inv)	3	1	1	5
Consumables	1	1	1	3
Travels	2	7	6	15
TOTAL PD	6	9	8	23
INFN Milano				
Equipment (inv)	0	0	0	0
Consumables	14	11	8	33
Travels	6.5	11.5	10	28
TOTAL MI	20.5	22.5	18	61
TOTAL BUDGET	93.5	97.5	71	262

Conclusioni

La collaborazione SPES_MED porta a raccogliere dati e competenze per la fase gamma di SPES

Dà un contributo nella messa in funzione della linee LARAMED e ISOLPHARM

Permette un miglioramento dei modelli di spettroscopia

Raccoglie dati sperimentali inediti

Rafforza la collaborazione di fisici nucleari interessati anche alle applicazioni mediche

SPES_MED budget

	WP1 - Cross section measurements (LNL)				
CONSUMABLES	Enriched material (Zn-70 and Zn-68) + custom clearance	22	2	2	26
TRAVELS	Travels for experimental activity	12	15	10	37
	Travels for congresses	6	6	6	18
	TOTAL WP1	40	23	18	81
	WP1 - Cross section measurements (MI)				
CONSUMABLES	Targets + custom clearance	6	6	6	18
	Maintenance	2	2	2	6
	Radioactive transport	6	3	0	9
TRAVELS	Travels for experimental activity and congresses	6.5	11.5	10	28
	TOTAL WP1	20.5	22.5	18	61

SPES_MED budget

		Year 1	Year 2	Year 3	Total
		[k€]	[k€]	[k€]	[k€]
	WP2 - Nuclear measurements (PI)				
EQUIPMENT (INV)	Optical micrometer for INRiM - LNL	6	0	0	6
	Computing machines - PI	3	1	1	5
CONSUMABLES	Laboratory equipment - PI	2	2	2	6
	Pd-110 - LNL	0	8	0	8
	Ge-76 - LNL	0	8	0	8
TRAVELS	Travels for experimental activity	2	7	11	20
	TOTAL WP2	13	26	14	53
	WP3 - Detectors and electronics (LNL)				
EQUIPMENT (INV)	Computing machines - LNL	3	1	1	5
CONSUMABLES	Laboratory equipment - LNL	1	2	3	6
	Rack electronics - LNL	1	3	2	6
	Mechanical components for IRIS - LNL	3	2	1	6
TRAVELS	Travels for experimental activity	6	9	6	21
	TOTAL WP3	14	17	13	44
	WP4 - Models and simulations (PD)				
EQUIPMENT (INV)	Computing machines - PD	3	1	1	5
CONSUMABLES	Laboratory equipment - PD	1	1	1	3
TRAVELS	Travels for experimental activity	2	7	6	15
	TOTAL WP4	6	9	8	23
	TOTAL BUDGET	33	52	35	120