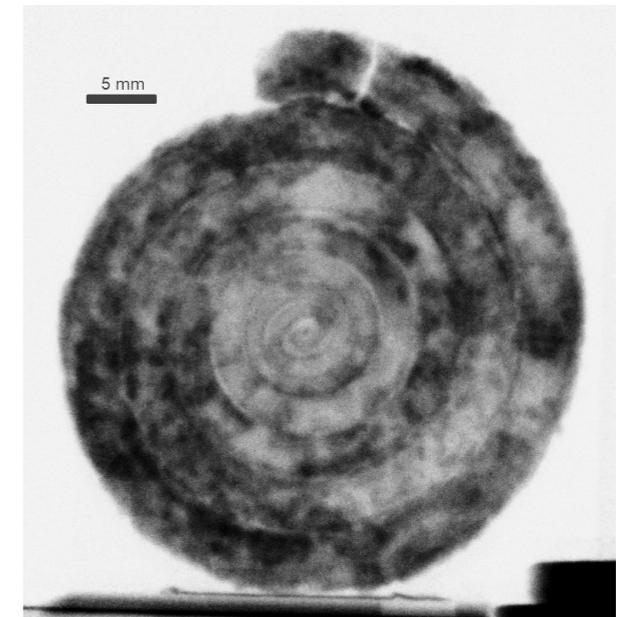
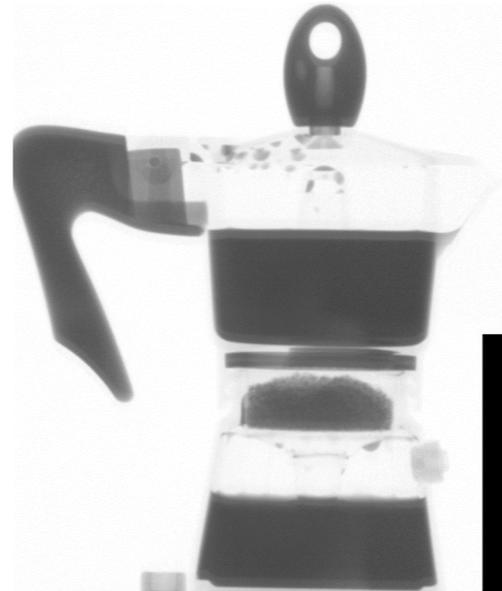




CHNet - NICHE

Cultural Heritage Network - Neutron Imaging for Cultural Heritage

Sviluppo, installazione e messa in esercizio di un sistema per radiografia e tomografia con neutroni termici presso il reattore del LENA (Laboratorio Energia Nucleare Applicata) di Pavia.



Resp. Nazionali: Nicla Gelli - Francesco Grazzi

Sezioni INFN coinvolte: Fi, Pv, MiB, To, Bo

Durata del progetto 2 anni più uno (2020-2022)

Neutron imaging: principi

Group → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
↓ Period

Raggi x da 150 KeV

1	H 0.02																He 0.02	
2	Li 0.06	Be 0.22										B 0.28	C 0.27	N 0.11	O 0.16	F 0.14	Ne 0.17	
3	Na 0.13	Mg 0.24										Al 0.38	Si 0.33	P 0.25	S 0.30	Cl 0.23	Ar 0.20	
4	K 0.14	Ca 0.26	Sc 0.48	Ti 0.73	V 1.04	Cr 1.29	Mn 1.32	Fe 1.57	Co 1.78	Ni 1.96	Cu 1.97	Zn 1.64	Ga 1.42	Ge 1.33	As 1.50	Se 1.23	Br 0.90	Kr 0.73
5	Rb 0.47	Sr 0.86	Y 1.61	Zr 2.47	Nb 3.43	Mo 4.29	Tc 5.06	Ru 5.71	Rh 6.08	Pd 6.13	Ag 5.67	Cd 4.84	In 4.31	Sn 3.98	Sb 4.28	Te 4.06	I 3.45	Xe 2.53
6	Cs 1.47	Ba 2.73		Hf 19.70	Ta 25.47	W 30.49	Re 34.47	Os 37.92	Ir 39.01	Pt 38.61	Au 35.94	Hg 25.88	Tl 23.23	Pb 22.81	Bi 20.28	Po 20.22	At -	Rn 9.77
7	Fr -	Ra 11.80		Rf -	Db -	Sg -	Bh -	Hs -	Mt -	Ds -	Rg -	Uub -	Uut -	Uuq -	Uup -	Uuh -	Uus -	Uuo -

Lanthanides

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
5.04	5.79	6.23	6.46	7.33	7.68	5.66	8.69	9.46	10.17	10.17	11.70	12.49	9.32	14.07

Actinides

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
24.47	28.95	39.65	49.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Group → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
↓ Period

Neutroni Termici

1	H 3.44																He 0.02	
2	Li 3.30	Be 0.79										B 101.6	C 0.56	N 0.43	O 0.17	F 0.20	Ne 0.10	
3	Na 0.09	Mg 0.15										Al 0.1	Si 0.11	P 0.12	S 0.06	Cl 1.33	Ar 0.03	
4	K 0.06	Ca 0.08	Sc 2.00	Ti 0.60	V 0.72	Cr 0.54	Mn 1.21	Fe 1.19	Co 3.92	Ni 2.05	Cu 1.07	Zn 0.35	Ga 0.49	Ge 0.47	As 0.67	Se 0.73	Br 0.24	Kr 0.61
5	Rb 0.08	Sr 0.14	Y 0.27	Zr 0.29	Nb 0.40	Mo 0.52	Tc 1.78	Ru 0.58	Rh 10.88	Pd 0.78	Ag 4.04	Cd 115.1	In 7.58	Sn 0.21	Sb 0.30	Te 0.25	I 0.23	Xe 0.43
6	Cs 0.29	Ba 0.07		Hf 4.99	Ta 1.49	W 1.47	Re 6.85	Os 2.24	Ir 30.46	Pt 1.46	Au 6.23	Hg 16.21	Tl 0.47	Pb 0.38	Bi 0.27	Po -	At -	Rn -
7	Fr -	Ra 0.34		Rf -	Db -	Sg -	Bh -	Hs -	Mt -	Ds -	Rg -	Uub -	Uut -	Uuq -	Uup -	Uuh -	Uus -	Uuo -

Lanthanides

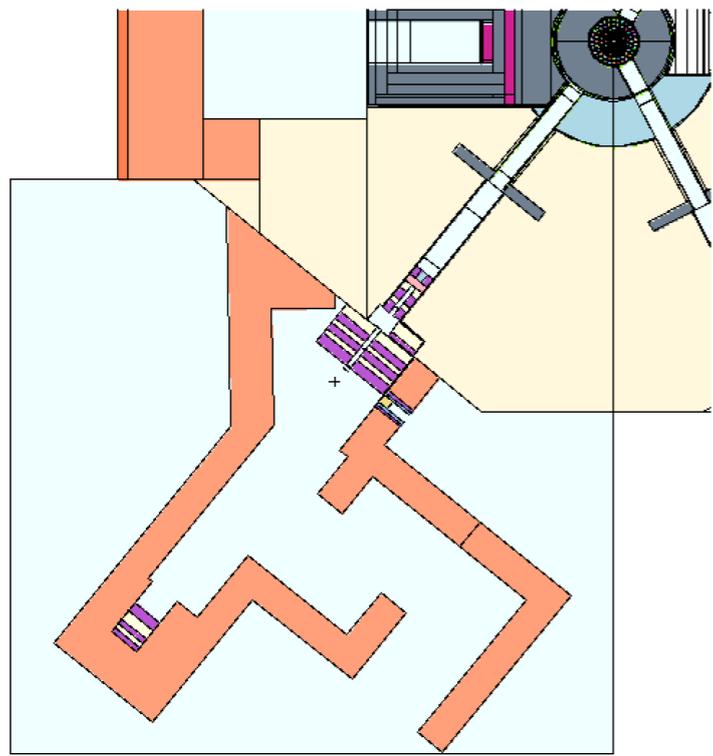
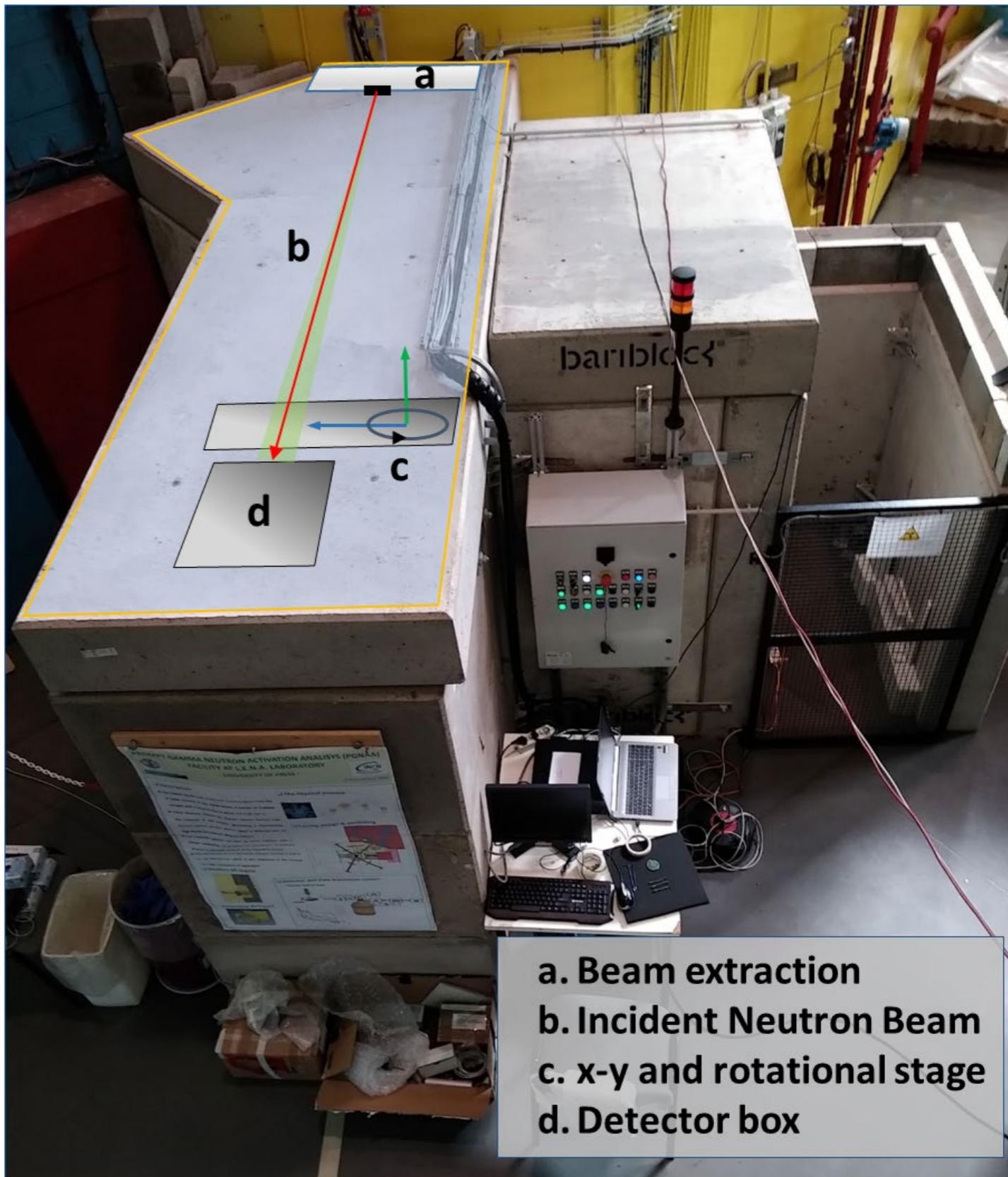
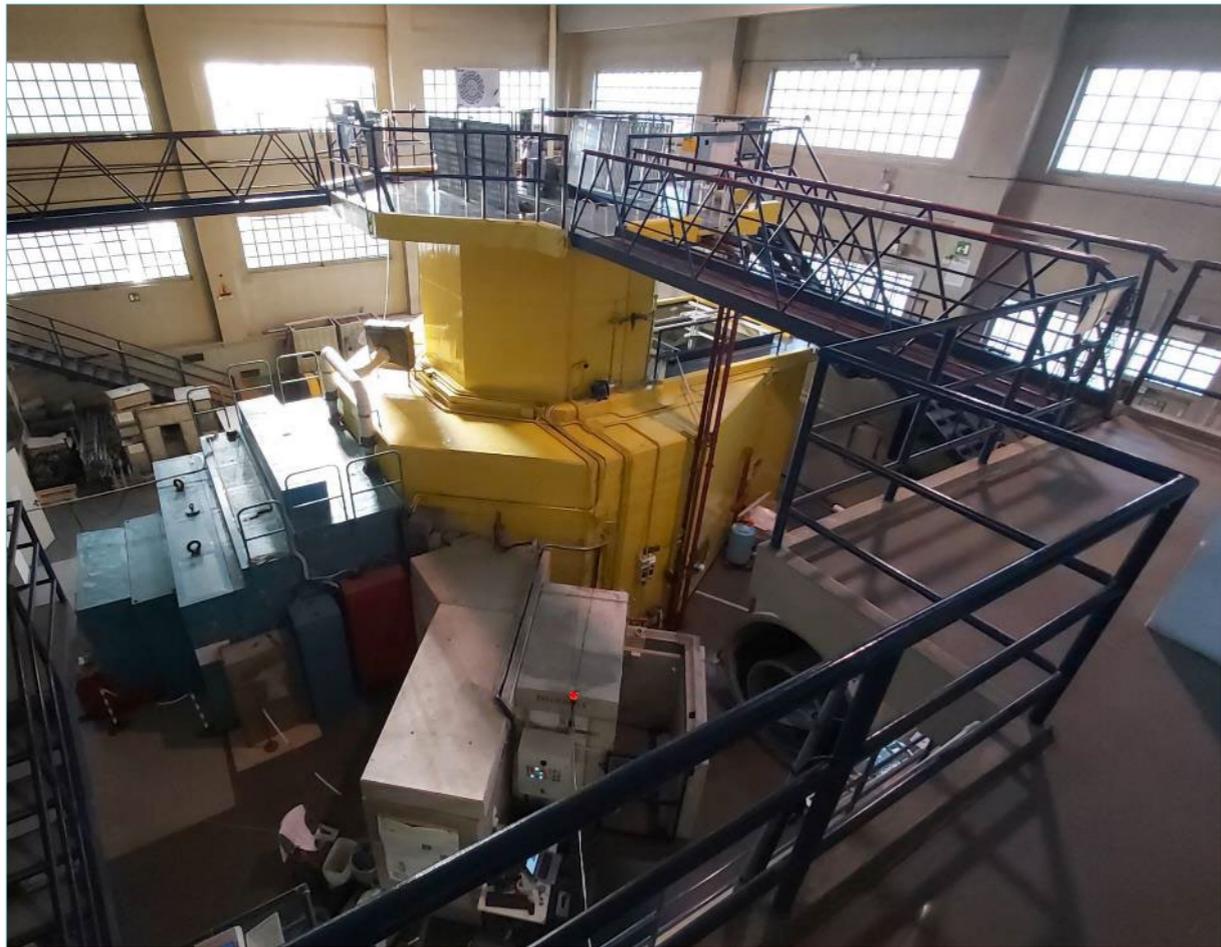
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
0.52	0.14	0.41	1.87	5.72	171.47	94.58	1479.0	0.93	32.42	2.25	5.48	3.53	1.40	2.75

Actinides

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
-	0.59	8.48	0.82	9.80	50.20	2.86	-	-	-	-	-	-	-	-

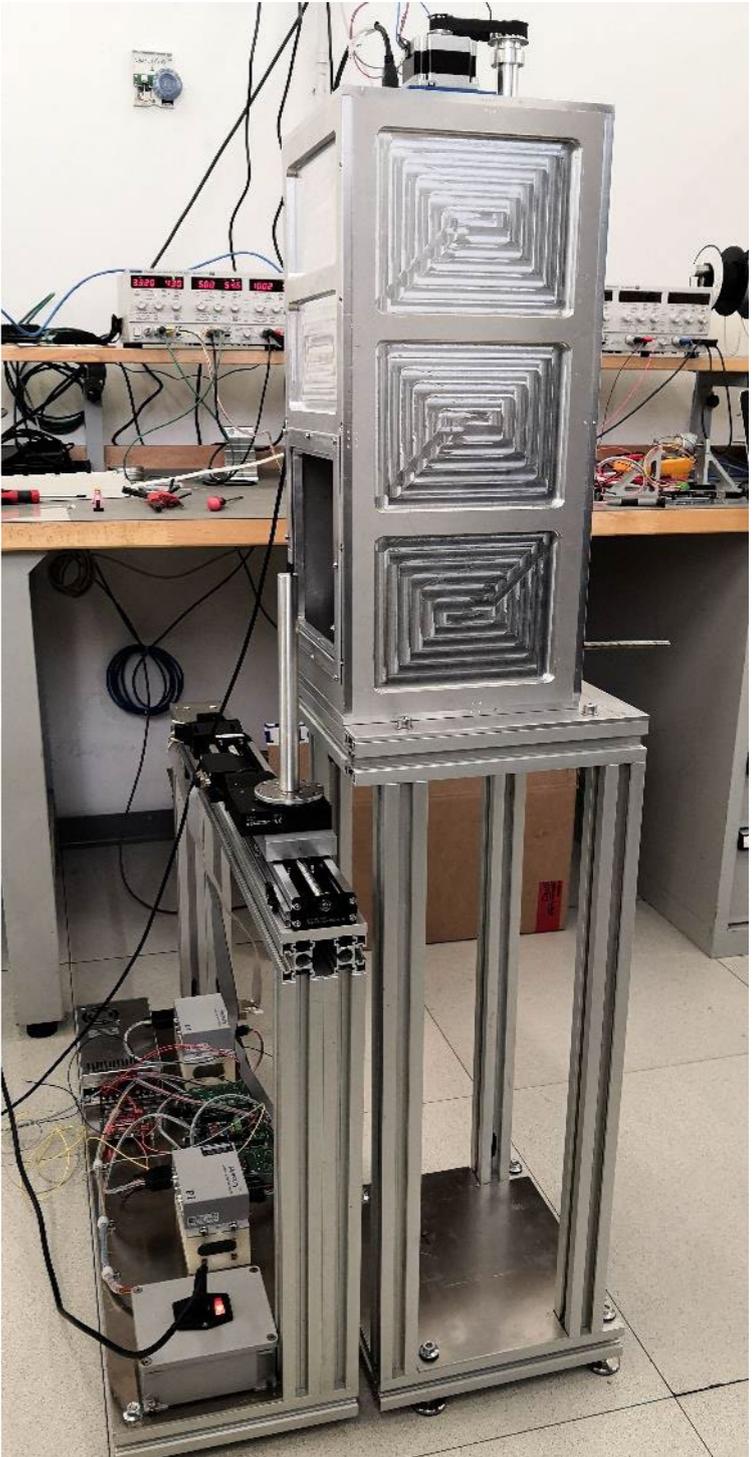
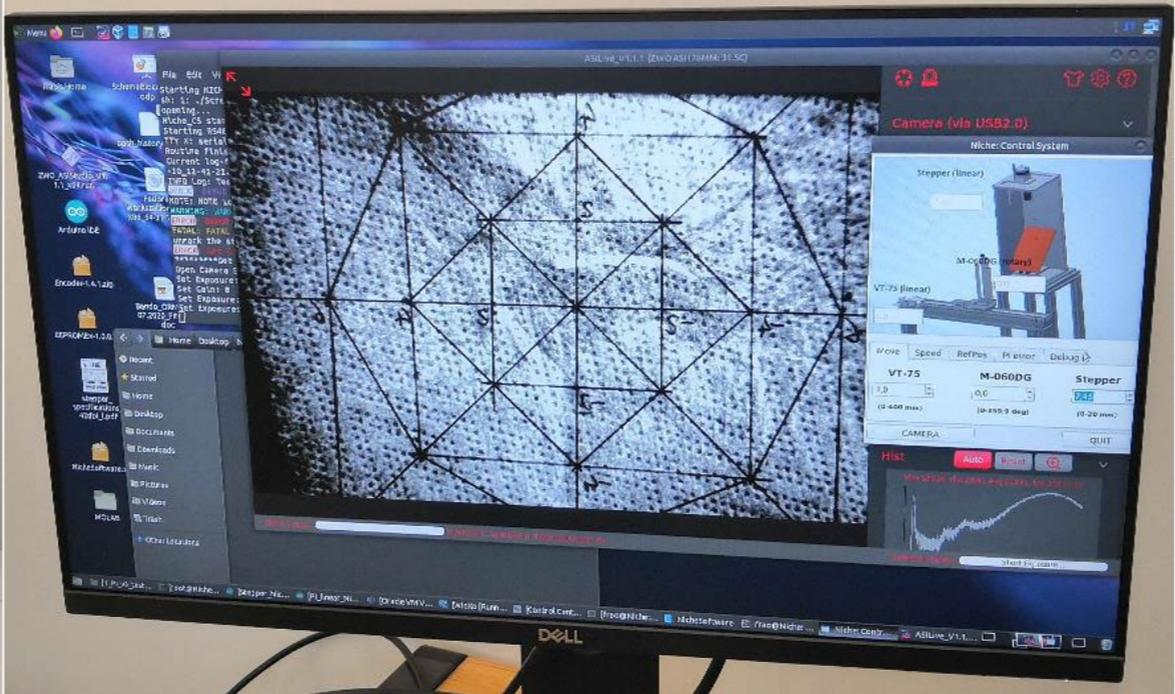


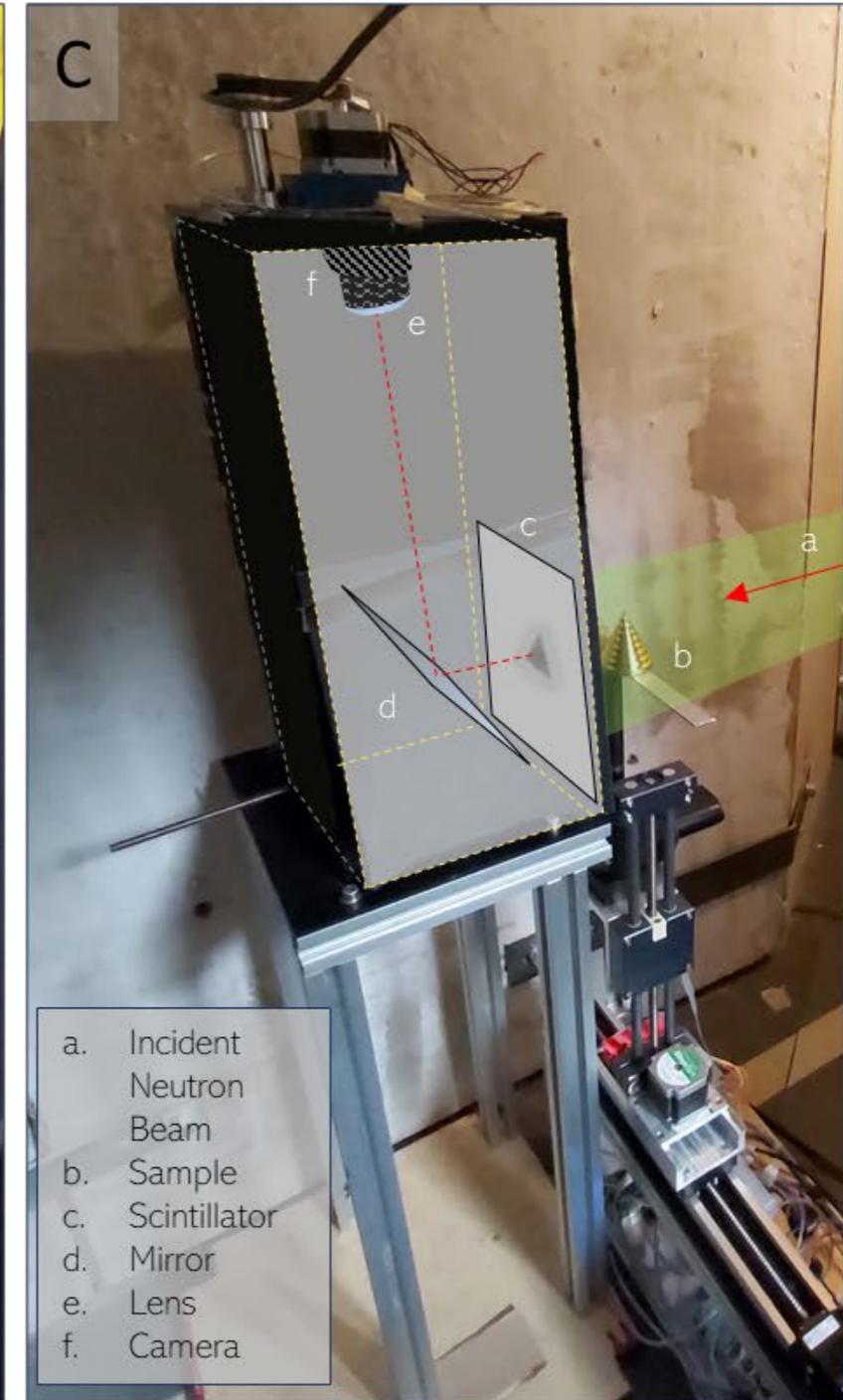
NICHE @LENA



a. Beam extraction
b. Incident Neutron Beam
c. x-y and rotational stage
d. Detector box

Sviluppo del sistema (2020)





- Installazione pin-hole (10 / 20 mm)
- montaggio camera box e sistema portacampione
- Controllo remoto acquisizione camera, distanza obiettivo, assi x-z e rotazione campione

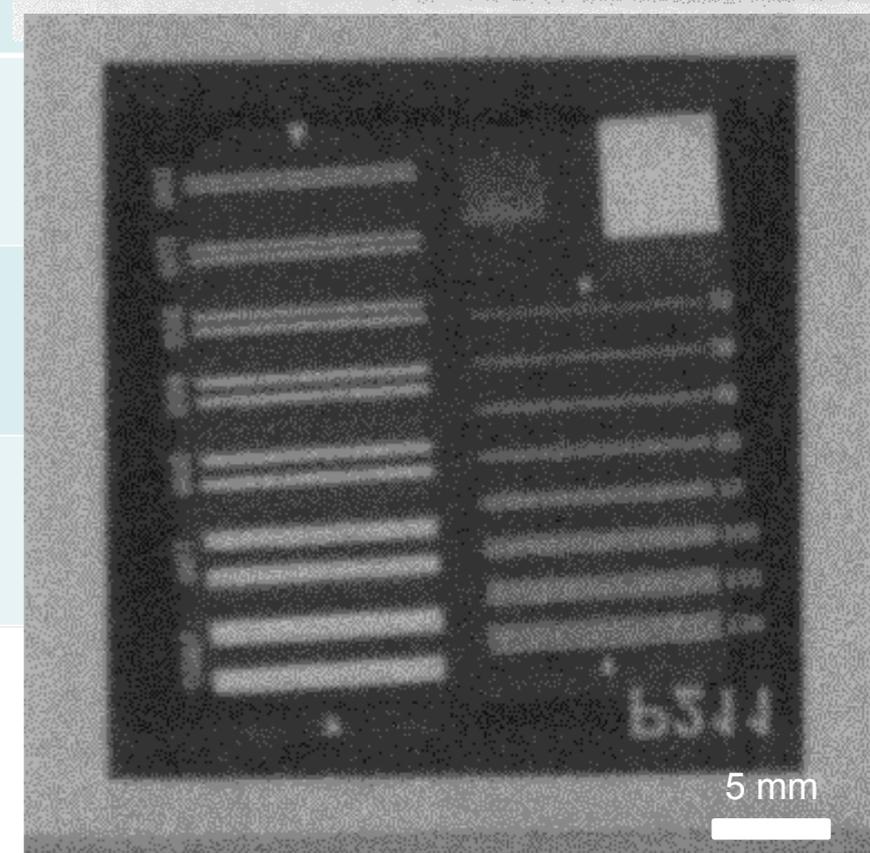
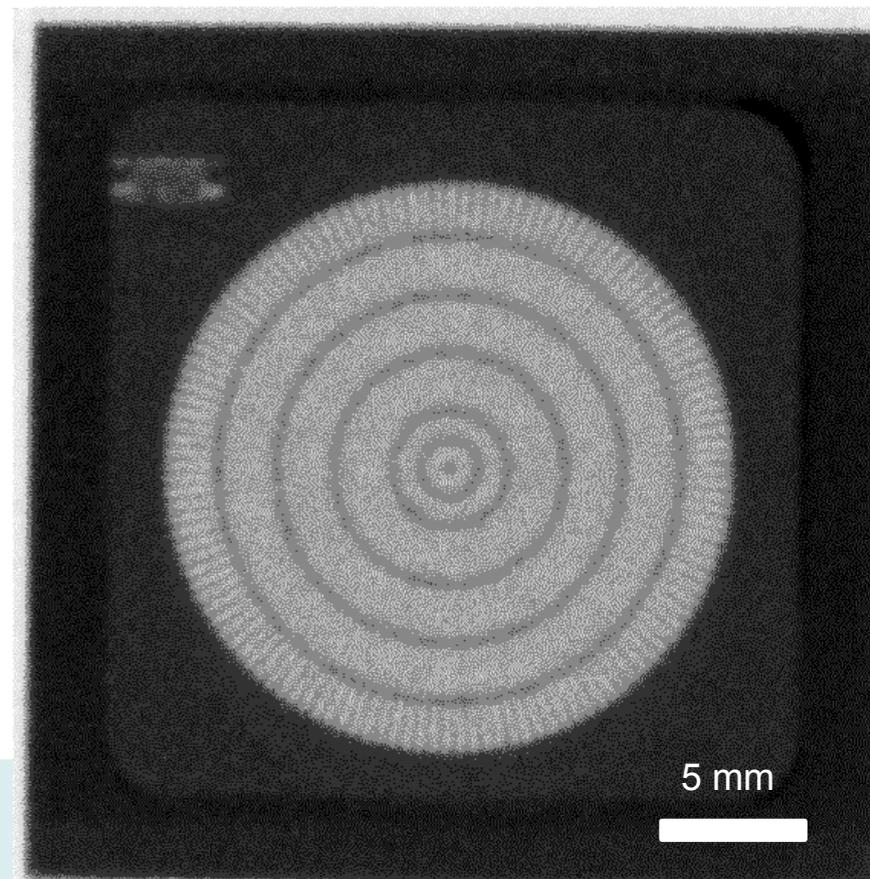
- Realizzazione, trasporto e installazione dei componenti del sistema di imaging - Selezione distanza di lavoro - Test di caratterizzazione del fascio e del sistema di imaging di base: **tempi di acquisizione, dimensioni del fascio (FOV) e risoluzione spaziale**

- Selezione di due posizioni di misura:

Alta risoluzione

Alto flusso

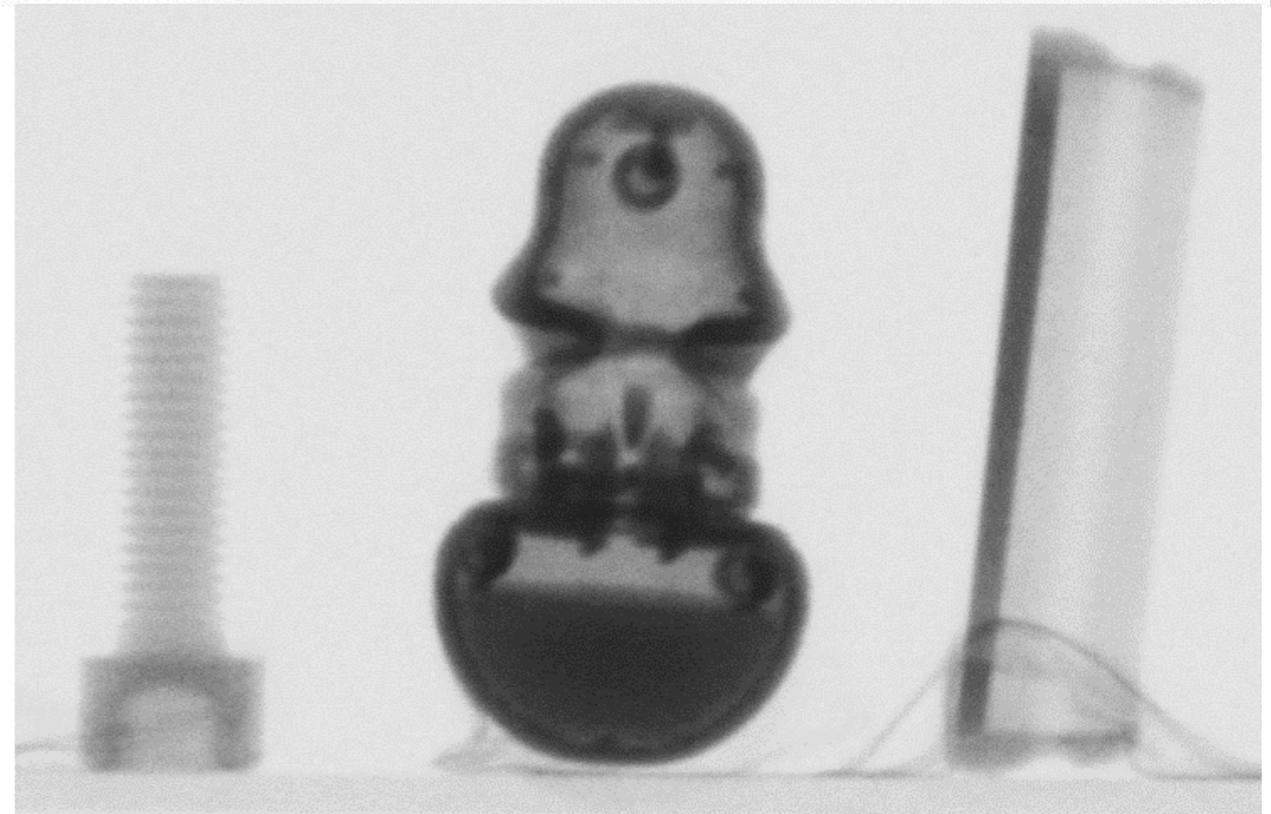
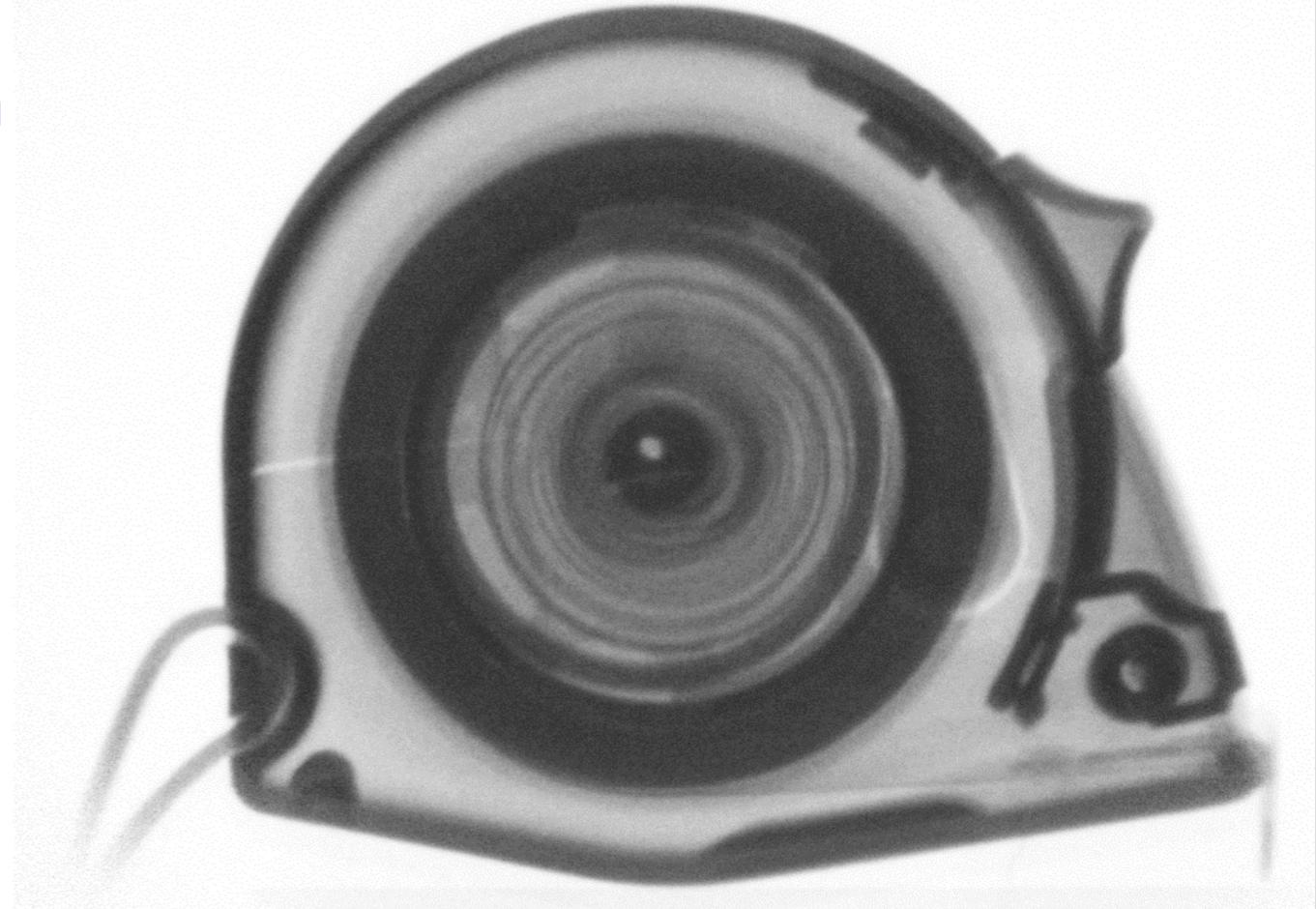
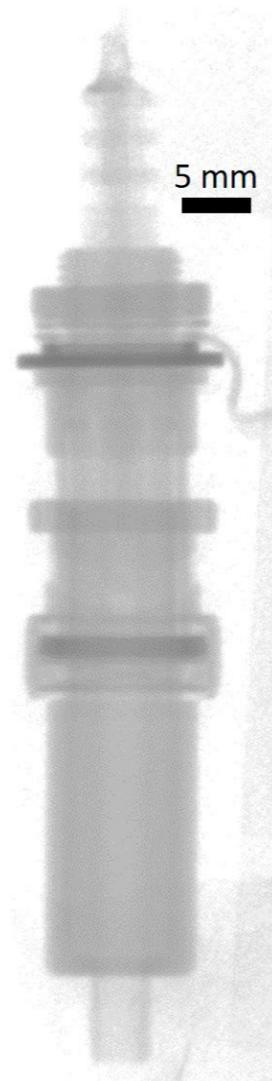
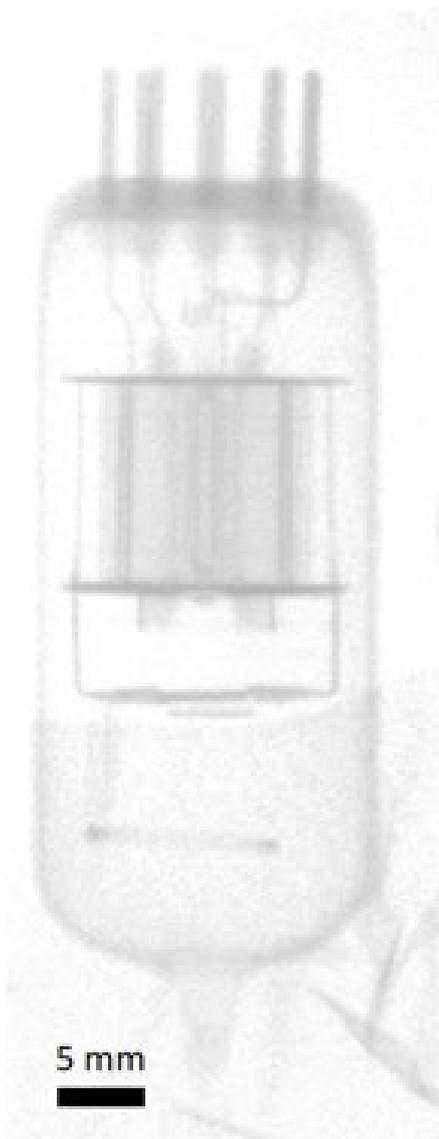
	Alta risoluzione	Alto flusso
Distanza	194 cm	141 cm
Campo di vista (lato quadrato)	85 mm	55 mm
Tempo di acquisizione	1200 s	600 s
Risoluzione spaziale massima	125 micron	150 micron



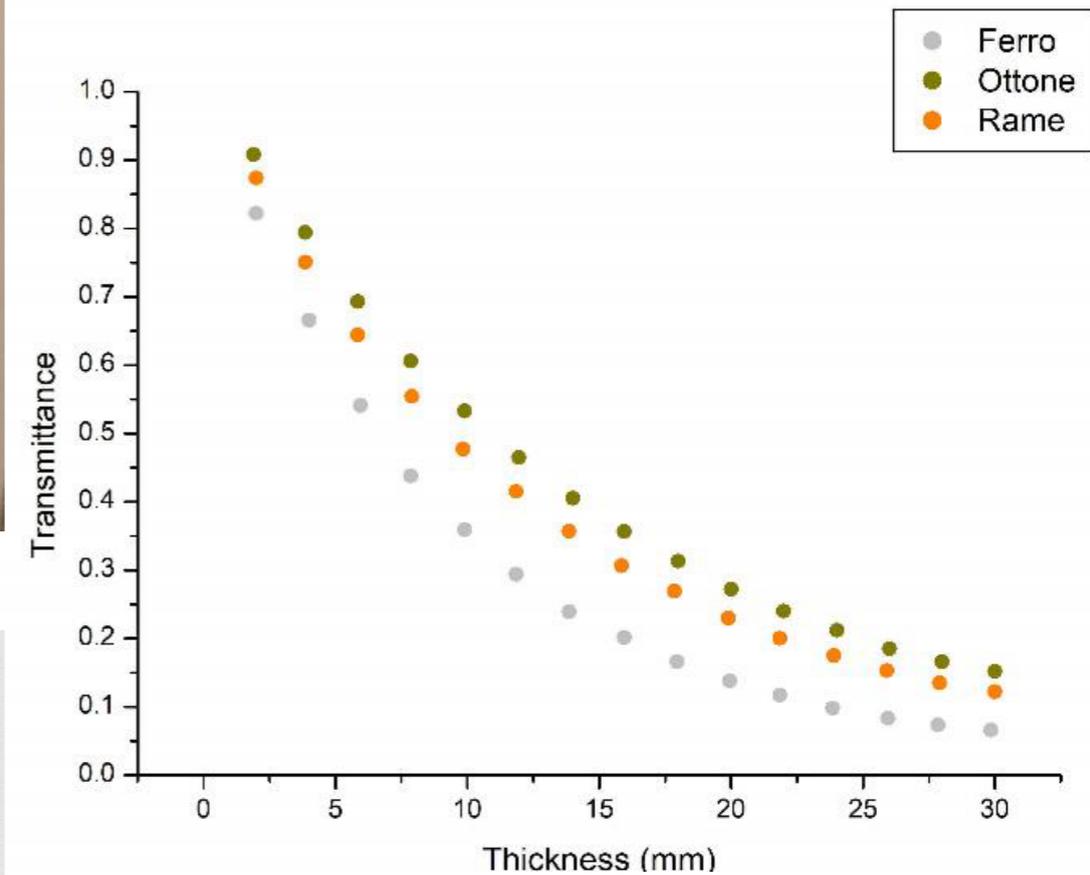
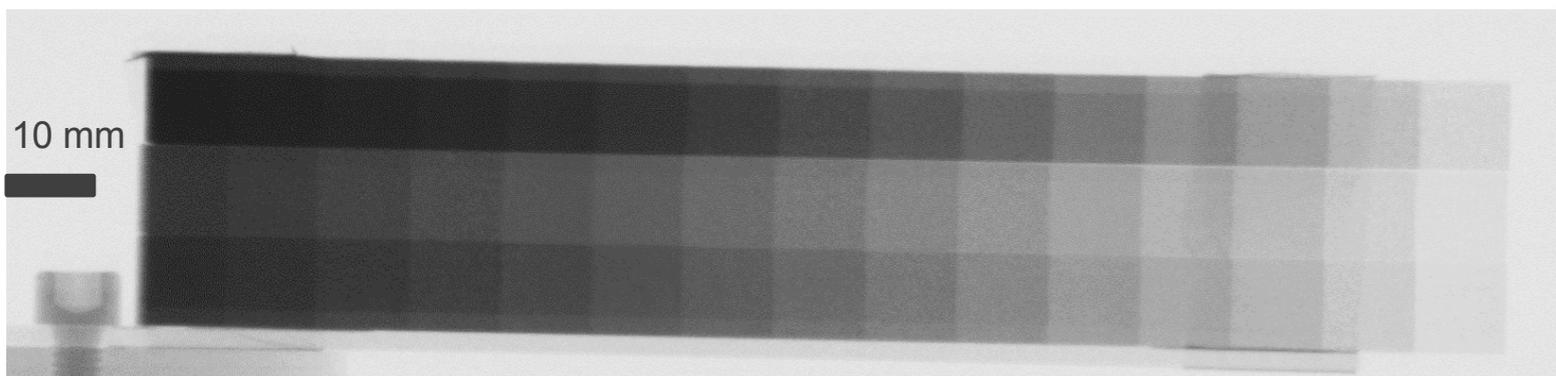
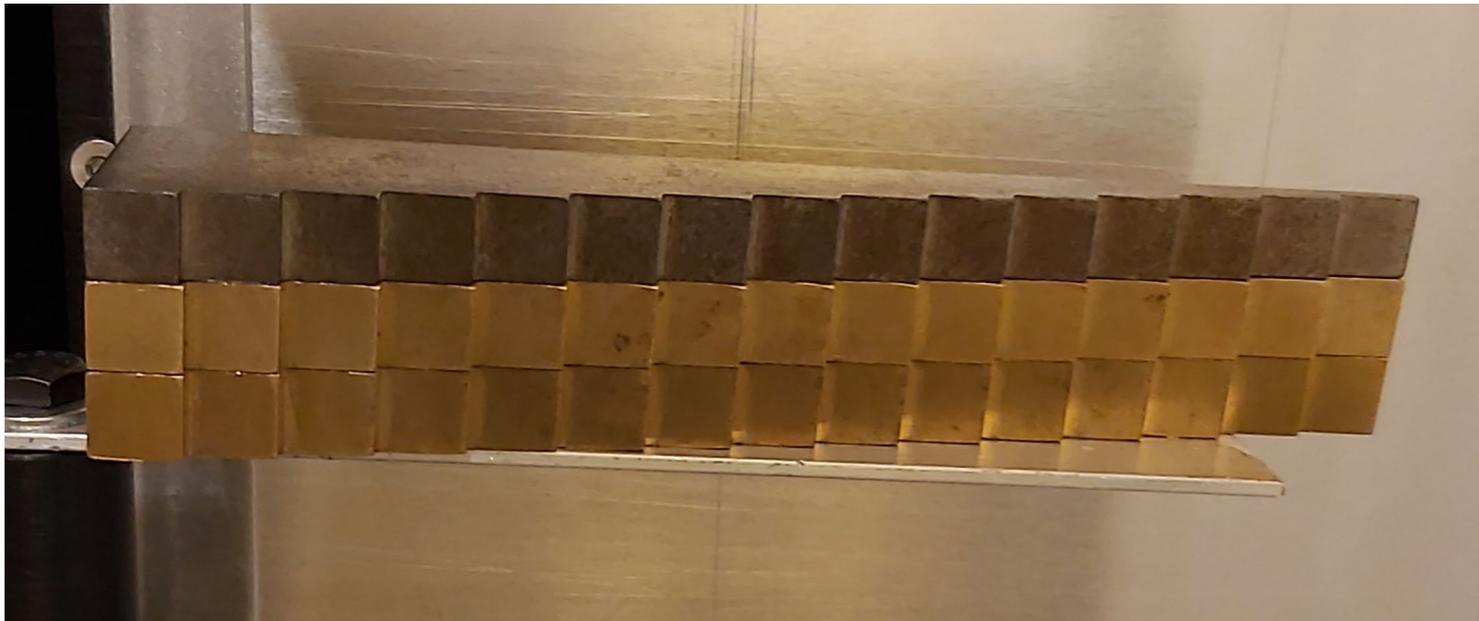
- **Realizzazione di radiografie di prova su oggetti complessi e multimateriale**
- **Test per ottimizzazione del sistema** (misure di linearità della camera, test su campioni di diversi tipi di rivelatori, misure del coefficiente di attenuazione su campioni omogenei in metallo di composizione e spessori noti)
- **Misure su soggetti estesi con ricombinazione a mosaico delle radiografie**
- **Implementazione dell'automazione del sistema di rotazione e controllo della telecamera** per gestire l'acquisizione in sequenza di centinaia di radiografie ad angoli determinati
- **Realizzazione di tomografie con differenti statistiche e risoluzioni**

- **Realizzazione di radiografie di prova su oggetti complessi e multimateriale**

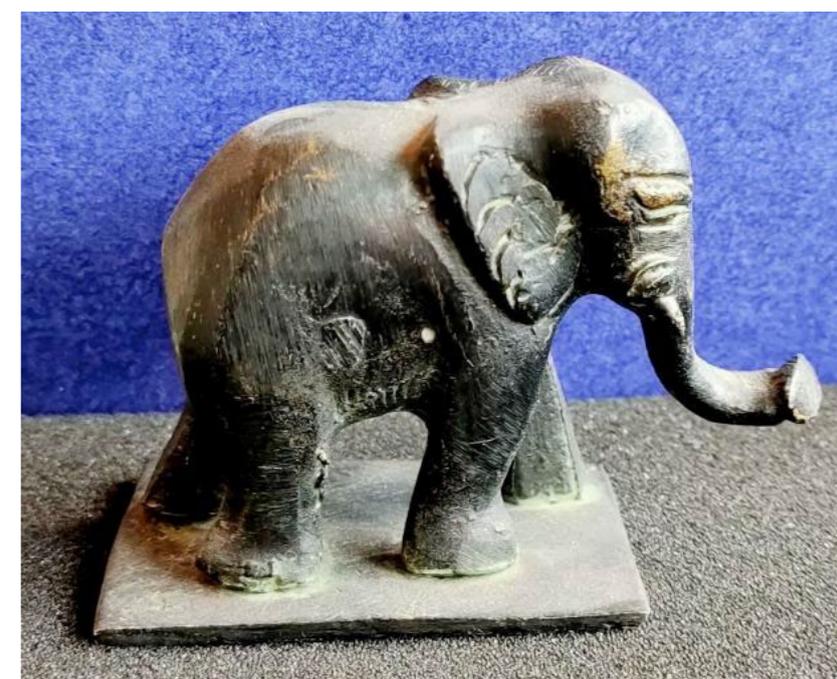
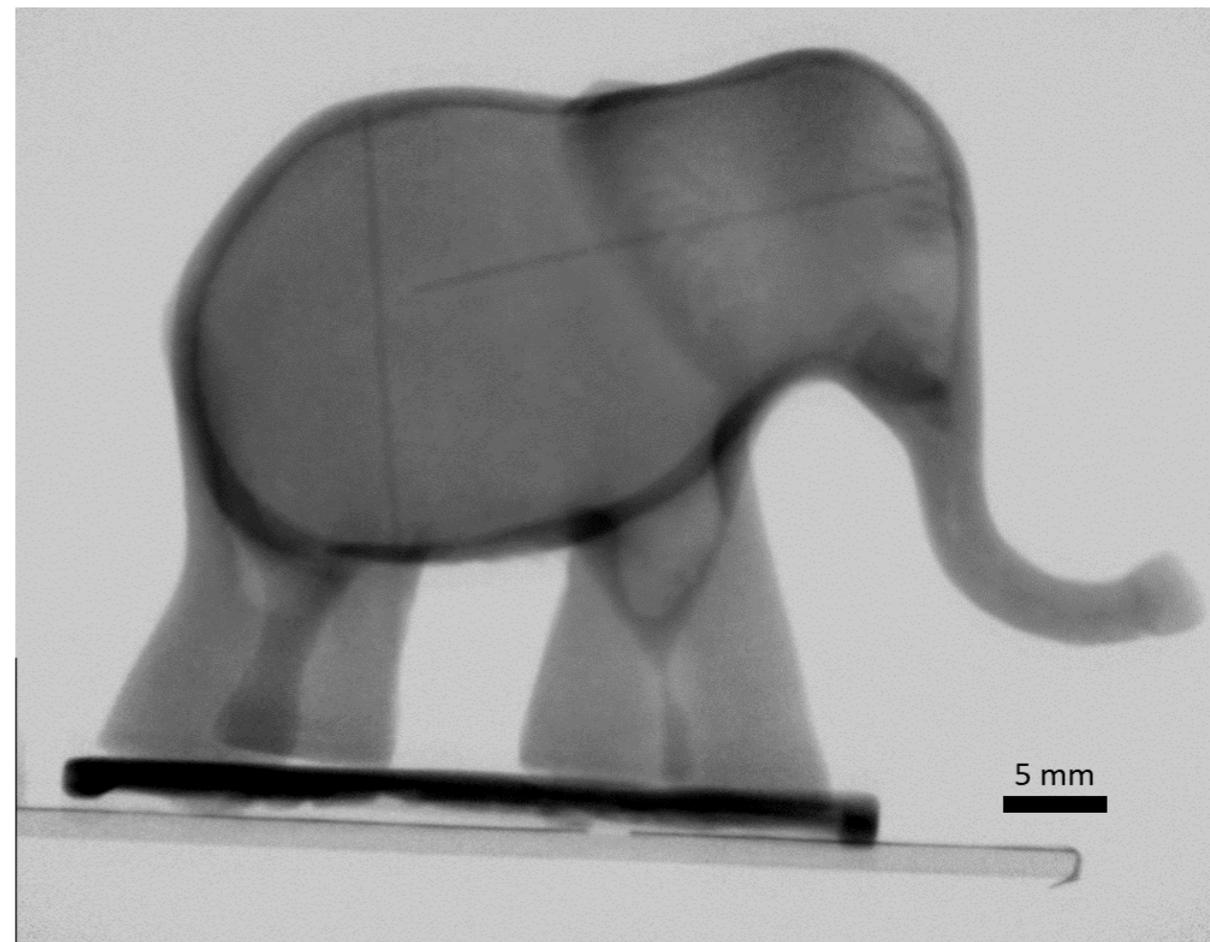
Analisi tramite programmi di elaborazione di immagine (ImageJ)



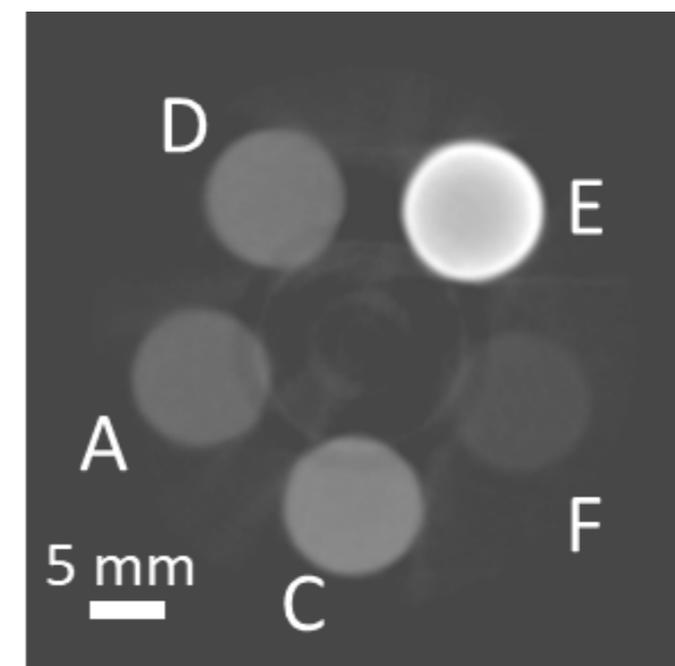
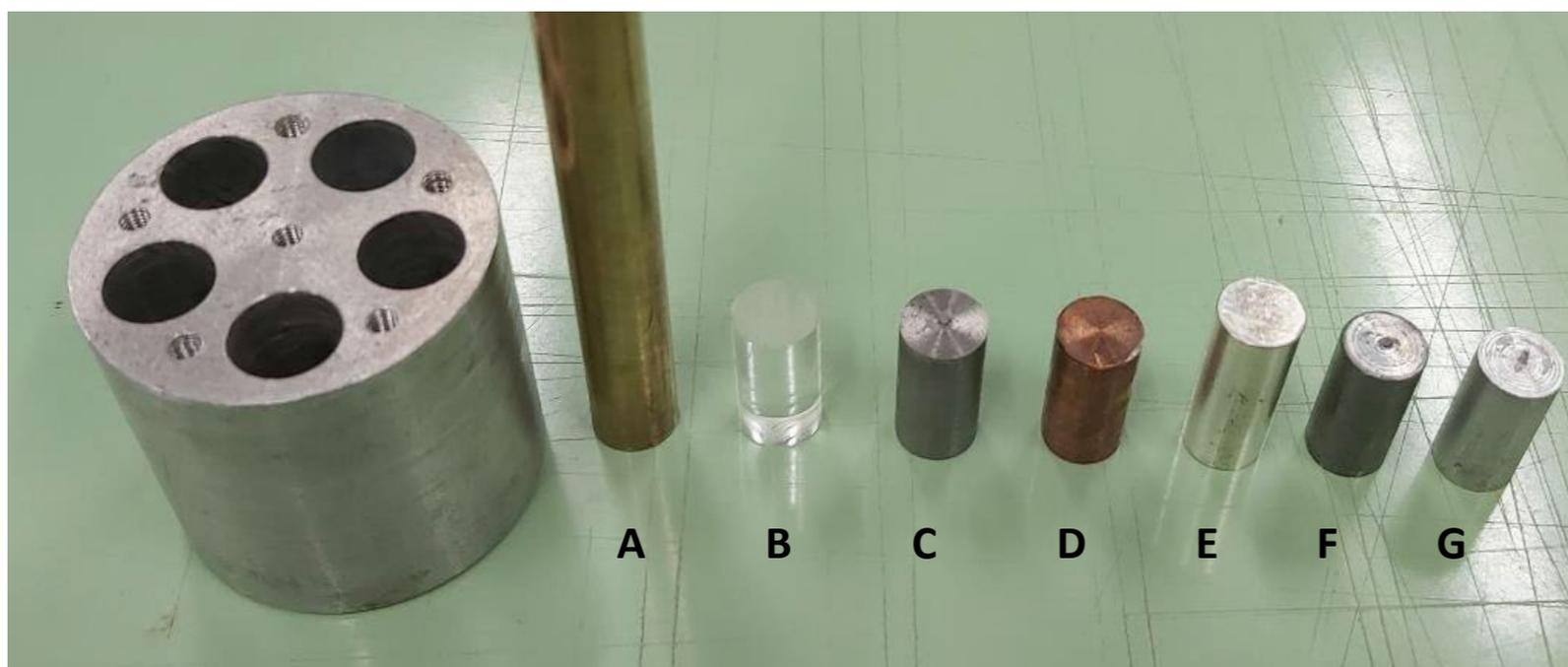
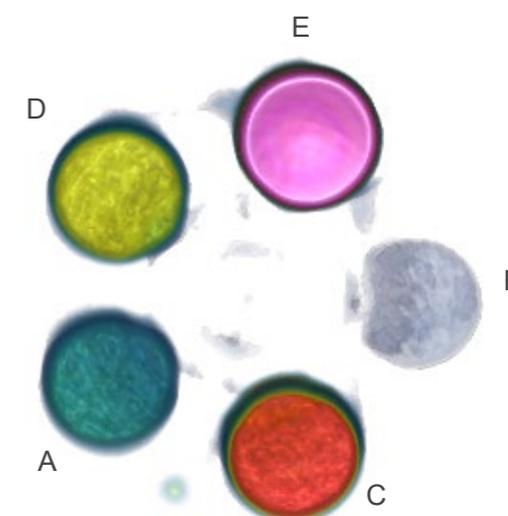
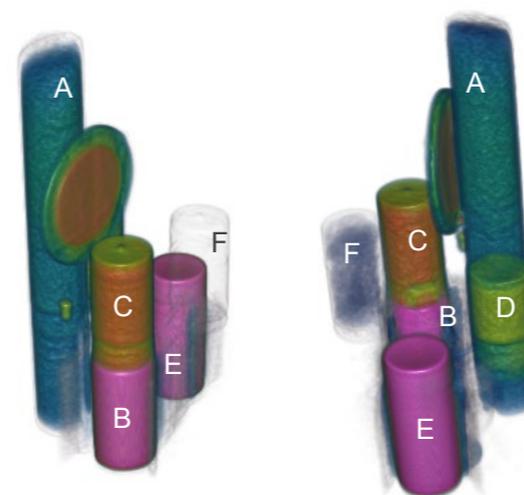
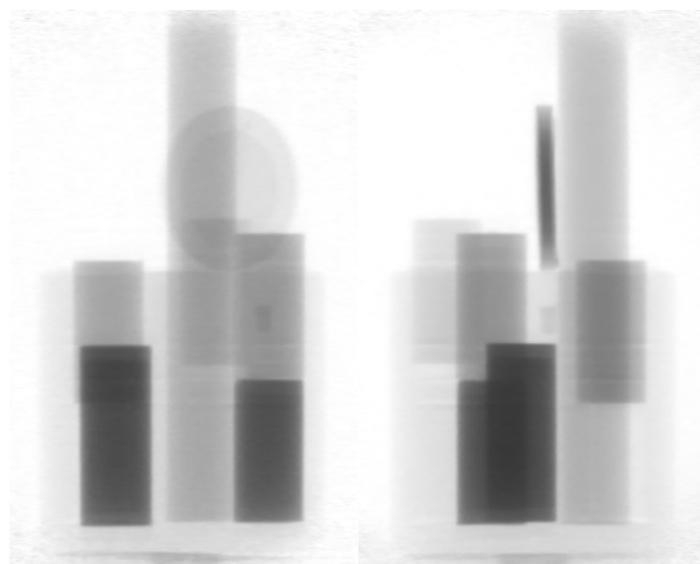
- **Test per caratterizzazione e ottimizzazione del sistema** (misure di linearità della camera, test su campioni di diversi tipi di rivelatori, **misure del coefficiente di attenuazione su campioni omogenei in metallo di composizione e spessori noti**)



- **Misure su soggetti estesi con ricombinazione a mosaico delle radiografie**



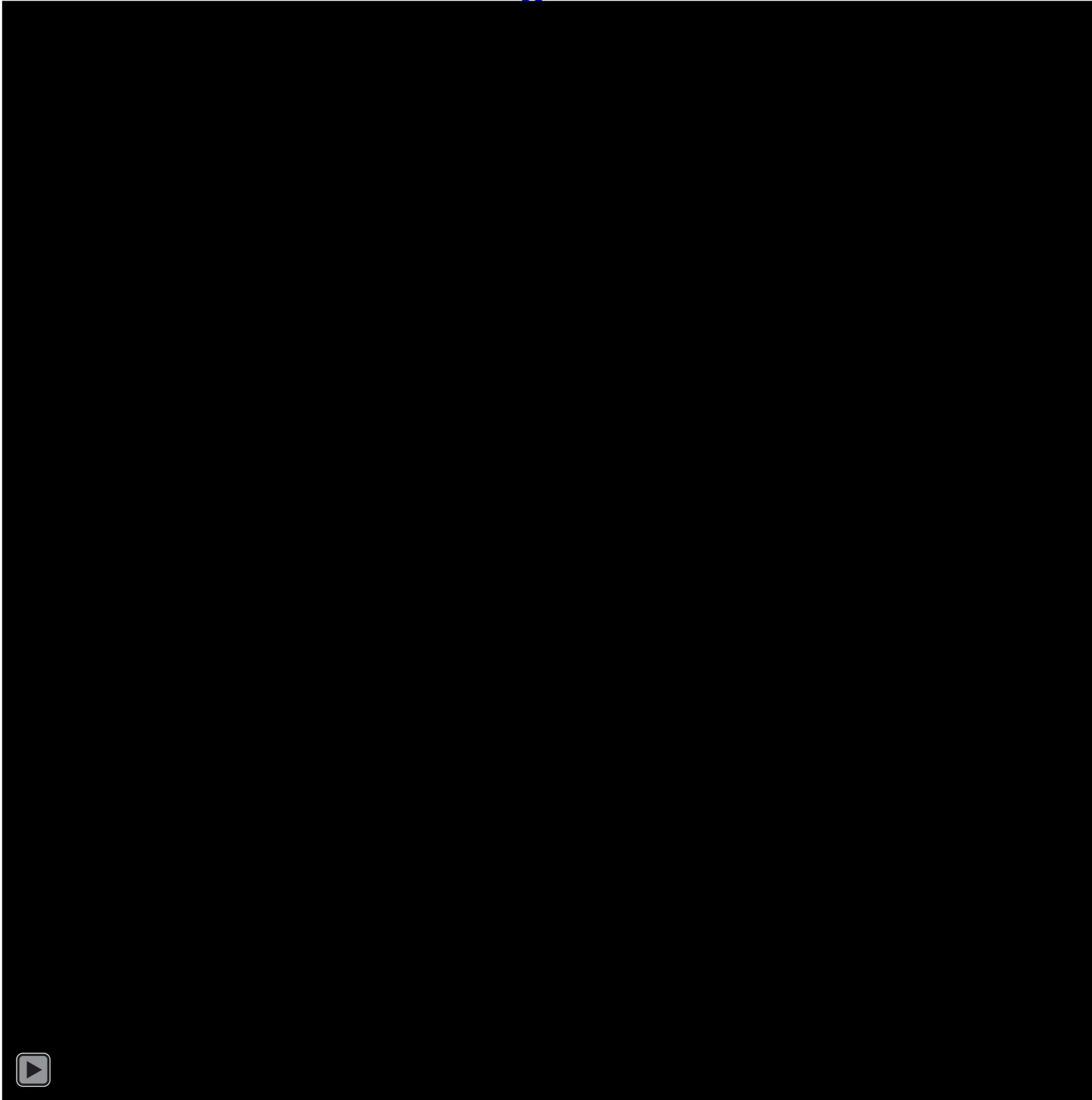
- Automazione e sincronizzazione rotazione del campione e acquisizione telecamera
=> **Tomografie:** 10.5 h tempo reattore, 120 s tempo per proiezione, 301 proiezioni



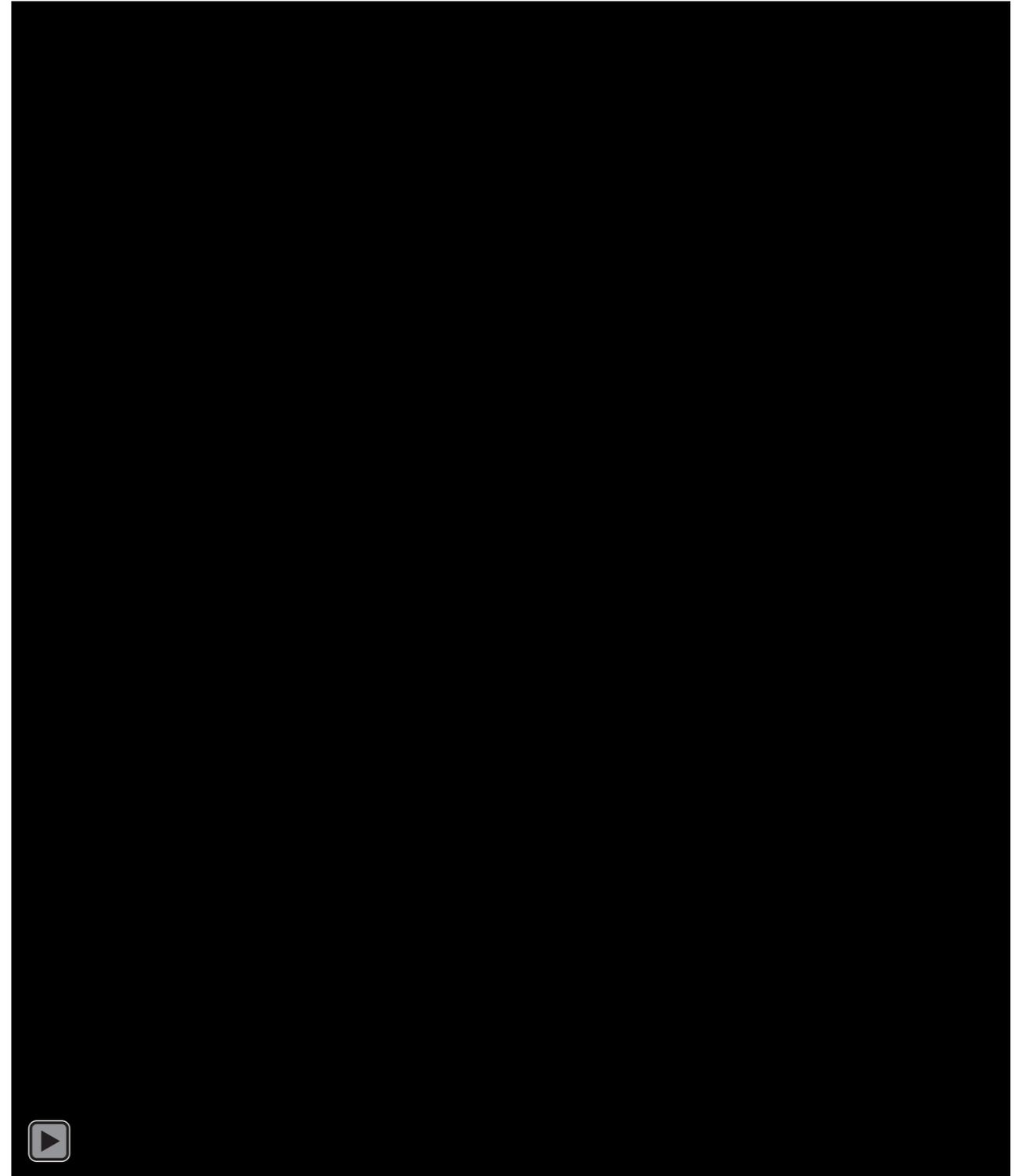
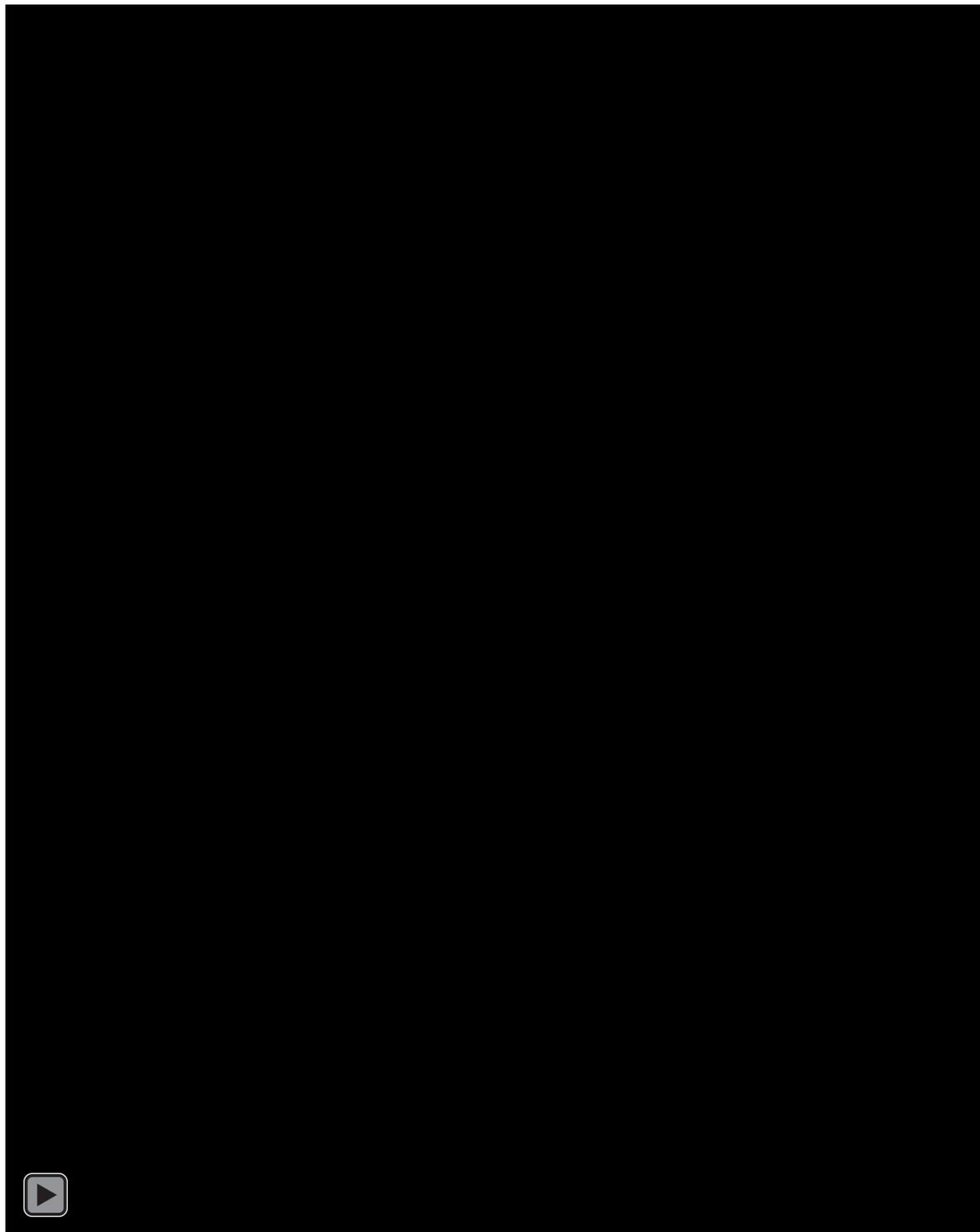
A: ottone; B: polietilene; C: ferro; D: rame; E: argento; F: piombo; G: alluminio.

Obiettivi raggiunti

- Tomografia



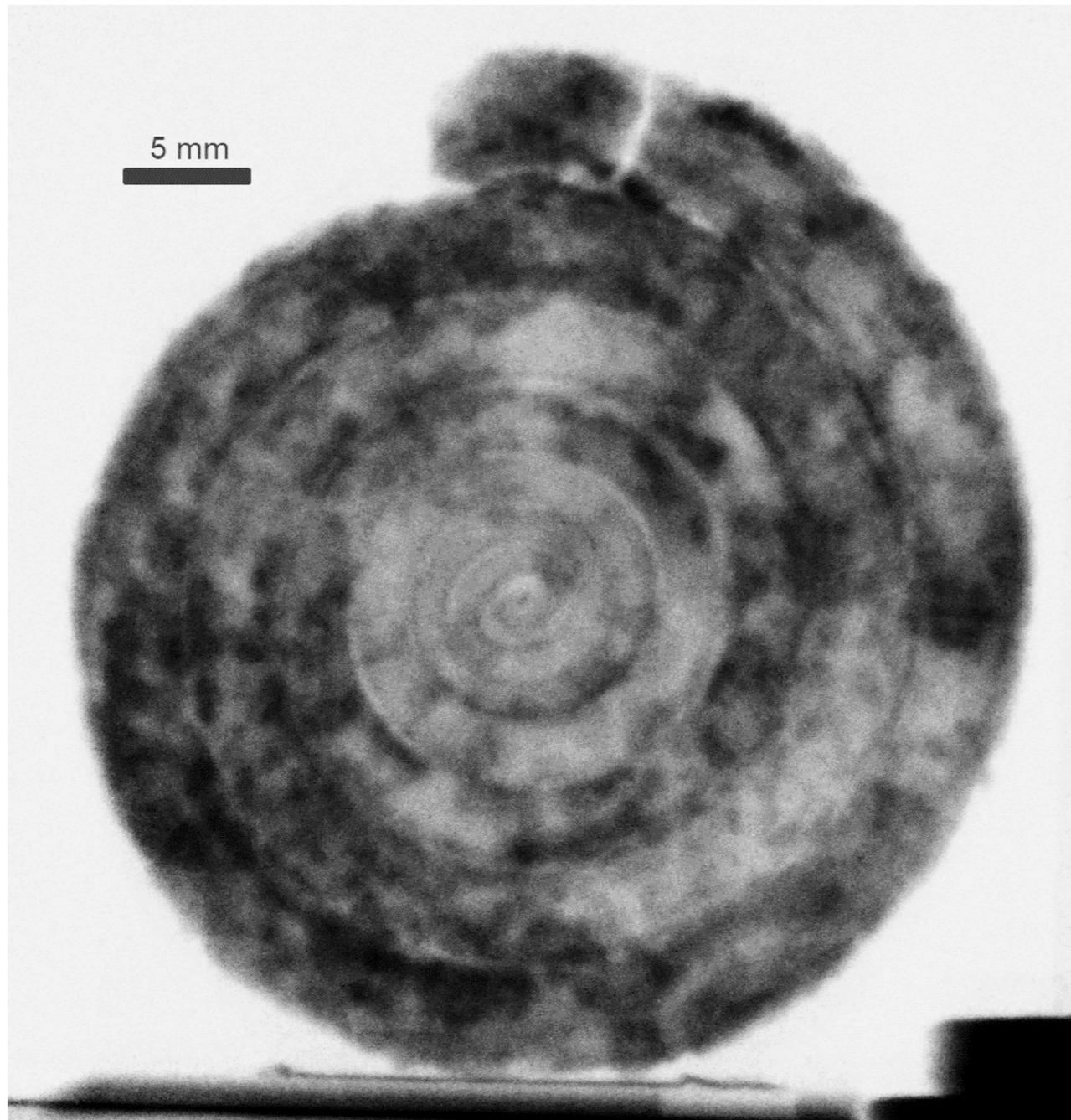
Tomografie





Rendering 3D a falsi colori della moneta da 1euro (ottenuta con Slicer3D) e della figura in plastica di Dart Fener

Misure radiografiche di campioni archeologici Spirale celtica



Elemento di spada giapponese del XIX secolo in lega di rame (fuchi).

Rendering 3D dei fuchi in falsi colori: grazie ai diversi coefficienti di attenuazione si distinguono i diversi tipi di metallo (marrone per il rame e ocra per il bronzo) e la presenza di corrosione superficiale di mineralizzazione (punti in rosso).



- **Ottimizzazione** della stazione di imaging:
 - **Nuova telecamera 16 bit raffreddata**
 - **Nuovo scintillatore**
 - **Sistema di binari e carrelli** per montaggio e smontaggio veloce e riproducibile
 - **Sistema portacartucce per pin-hole** ceramici
 - **Completamento software** e interfaccia grafica Labview con possibilità di esecuzione script di acquisizione
 - **Misure su casi di studio** di interesse nel campo dei **Beni Culturali**

Publicazioni

- Report e registrazione di NICHE come strumento di imaging neutronico sul database IAEA
- Articolo su NR Newsletter n.17, mar 2022, International Society for Neutron Radiography (ISNR)
- Gelli, N., et al. "The new INFN-CHNet neutron imaging facility." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* (2023): 1051, 168189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168189>
- Grazzi F., et al. "A work-horse neutron imaging station at the Laboratorio Energia Nucleare Applicata (LENA) in Pavia (Italy): Instrumental components and applications in the frame of the CHNet-NICHE INFN experiment." *IOP Conference Series*, accepted for publication

Comunicazioni a congressi (nell'ultimo anno)

- A. Vietti et al. Poster al Convegno tematico AIAR "La sostenibilita' nei Beni Culturali«, Padova 29 Giugno 1 Luglio 2022. <https://www.associazioneaiar.com/wp/eventi/convegno-tematico-aiar-2022/>
- F. Grazzi et al., Presentazione al XXXIII Congresso Nazionale della Società Italiana di Spettroscopia Neutronica (SISN), Milano 14-16 Settembre 2022. <https://www.sisn.it/congresso/>
- A. Vietti et al. Presentazione al 2022 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, Rende (CS) 19-21 Ottobre 2022. <https://www.metroarcheo.com/ma2022/>
- F. Grazzi et al. Poster al 9th International Topical Meeting on Neutron Radiography (ITMNR-9), Buenos Aires 17-21 Ottobre 2022. <https://itmnr-9.sciencesconf.org/>

Tesi e studenti coinvolti (durante il periodo 2020-2022)

- Laurea Triennale: n.7
- Laurea Magistrale: n.6
- Percorso di Dottorato n.6 – Guidorzi (UniTO), Vigorelli (PoliTO), Vietti (PoliTO), Magalini (UniTO), Marcucci (UniMIB), Cantini (UniFI)



Conclusioni

- E' stata realizzata una stazione di neutron imaging presso il LENA di Pavia
- Sono state fatte misure di caratterizzazione e ottimizzazione della beamline che permettono radiografie e tomografie di neutroni con caratteristiche sufficienti a studiare campioni complessi come quelli dei BBCC
- Il sistema è stato interamente progettato, verificato e ottimizzato internamente a INFN
- Il sistema è disponibile per utenti della rete CHNet per effettuare misure di imaging di neutroni termici

GRAZIE DELL'ATTENZIONE !

CHNET-NICHE

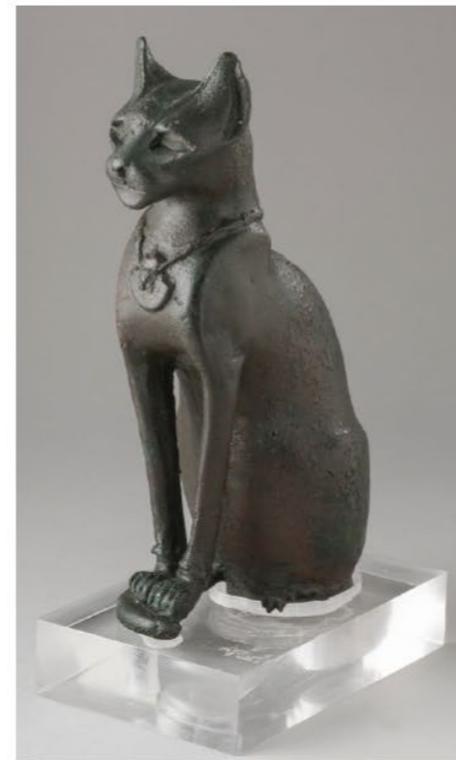
N.Gelli, F. Grazzi - Resp. Nazionali

Unità INFN coinvolte: FI, PV, BO, MIB, TO

Durata dell'esperimento: 2 anni + 1

CHNet_Bronze

Analisi elementare e di fase su manufatti in bronzo e leghe a base Cu con **tecniche neutroniche**



Fi: Diffrazione di neutroni a tempo di volo (**ToF-ND**)

To: Transmission Neutron Scattering for Bragg Edge Analysis (**BENT**)

MiB: Neutron Resonant capture Transmission Imaging (**NRTI**)

Durata 3 anni (2023-2025)

Resp.Naz. Daniela de Martino (MiB)