



POLITECNICO
MILANO 1863



ITECNICO
LANO 1863

Taratura della strumentazione usata in radioprotezione

Dr.ssa Luisella Garlati

***«La radioprotezione nell'ambiente, nell'industria,
nella ricerca e nella sanità»***

Rende, 16 - 17 Ottobre 2017

Concetto di taratura

Taratura - Operazione di regolazione o di verifica cui si ricorre per un corretto uso di dispositivi o di apparecchi scientifici e tecnici.

T. di uno strumento di misurazione, l'operazione con la quale si determina, entro limiti noti di precisione, la legge di corrispondenza fra le indicazioni dello strumento e i valori della grandezza che lo strumento deve misurare: si compie in genere confrontando le indicazioni dello strumento in esame con quelle di uno strumento dello stesso genere sufficientemente preciso (strumento campione) e facendo variare opportunamente il valore della grandezza applicata.

(Definizione tratta da Treccani)



Taratura e non calibrazione

2.39 (6.11) calibration

operation that, under specified conditions, in a first step, establishes a relation between the **quantity values** with **measurement uncertainties** provided by **measurement standards** and corresponding **indications** with associated measurement uncertainties and, in a second step, uses this information to establish a relation for obtaining a **measurement result** from an indication

NOTE 1 A calibration may be expressed by a statement, calibration function, **calibration diagram**, **calibration curve**, or calibration table. In some cases, it may consist of an additive or multiplicative **correction** of the indication with associated measurement uncertainty.

NOTE 2 Calibration should not be confused with **adjustment of a measuring system**, often mistakenly called “self-calibration”, nor with **verification** of calibration.

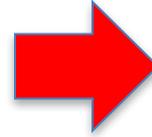
Calibration → taratura

Adjustment → calibrazione



Strumenti utilizzati in radioprotezione

- Rateo e integrale di dose
- Contaminazione
- Radon
- Neutroni



Strumenti e dosimetri

Strumentazione per l'analisi spettrometrica e per scintillazione prevede l'uso di standard di riferimento

Per ogni strumento esiste un riferimento ISO di taratura



Devo conoscere il mio strumento per sapere come tararlo



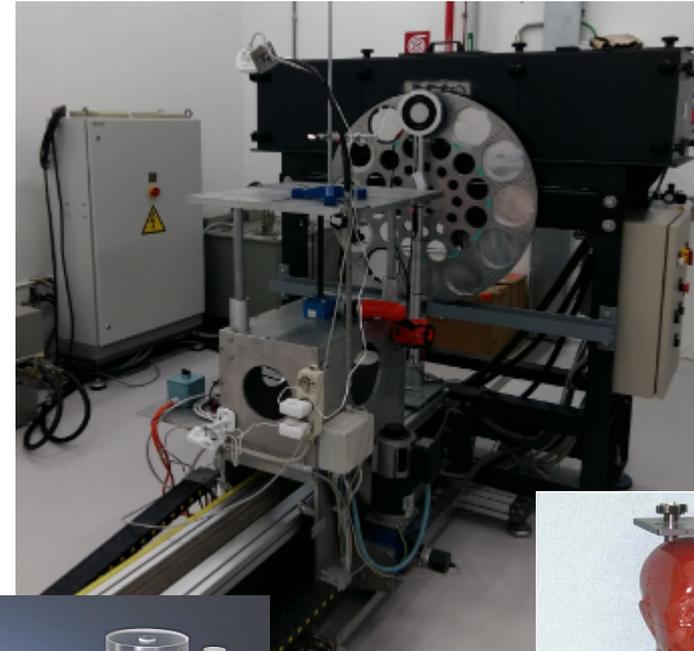
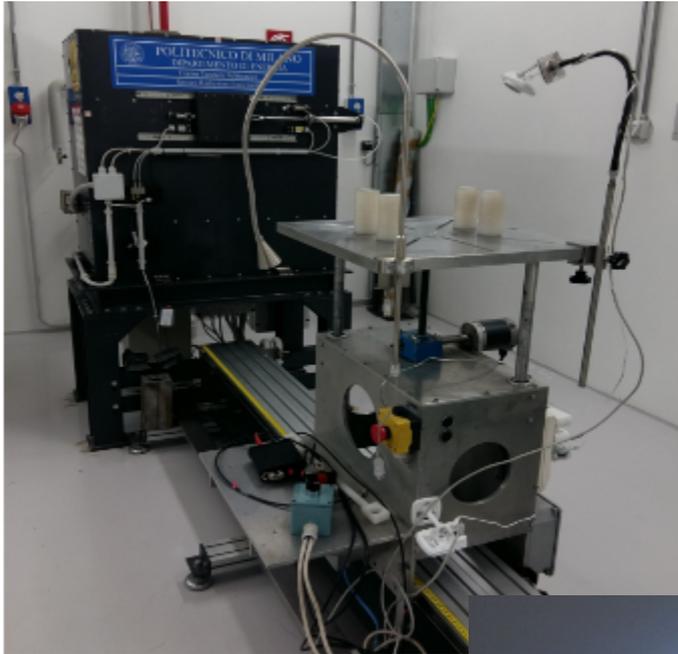
Taratura tramite fasci X e sorgenti gamma emettitrici

ISO 4037: X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy

- Part 1: *Radiation characteristics and production methods*
- Part 2: *Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV*
- Part 3: *Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*
- Part 4: *Calibration of area and personal dosimeters in low energy X reference radiation fields*



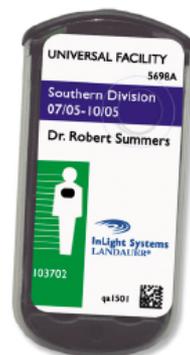
Taratura tramite fasci X e sorgenti gamma emettitrici



Centro LAT n. 104
PoliMi



Taratura tramite fasci X e sorgenti gamma emettitrici

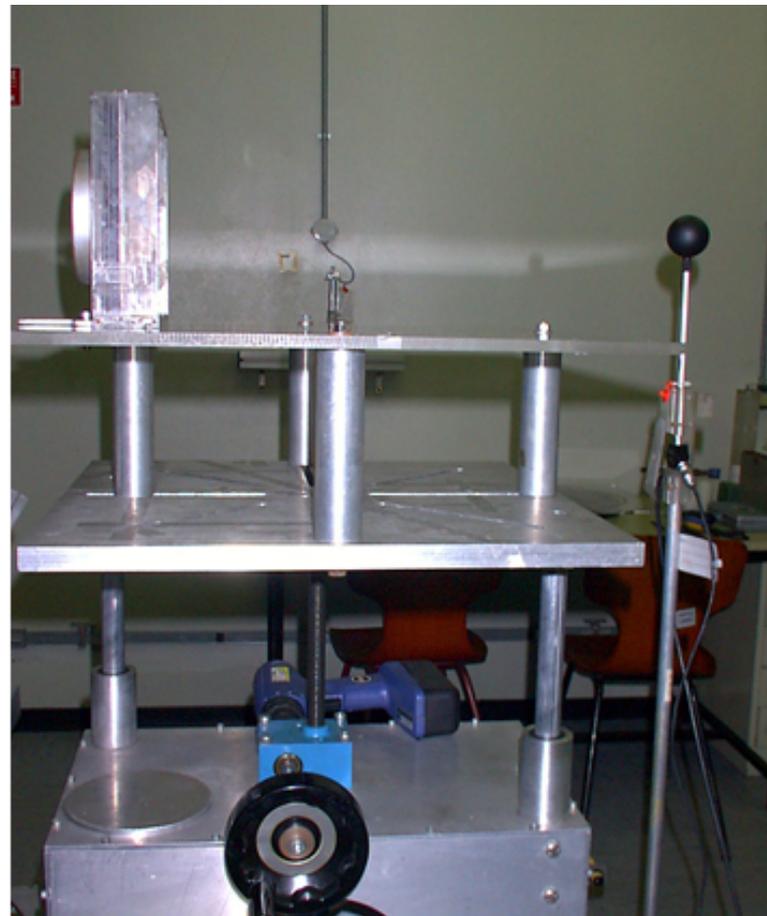
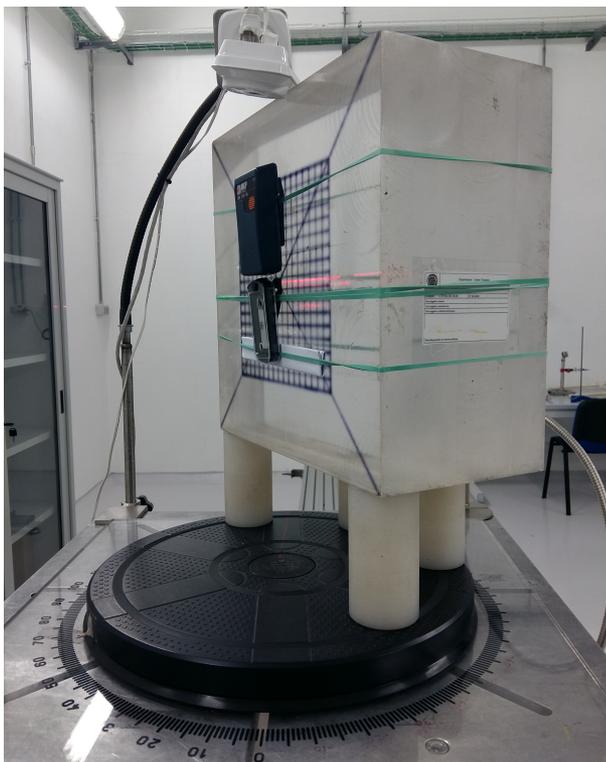
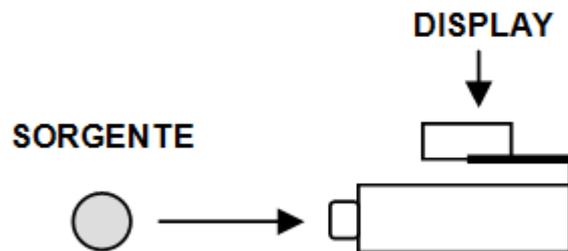


La scelta opportuna del fascio

Qualità di radiazione con emissione certificato ACCREDIA											
1	2	3	4	5	6						
Cod.	A.T. (KV)	Emedia (keV)	Filtrazione addizionale (mm)	1° SEV (mm)	Equivalente di dose (mSv/h)				Kerma in aria		
					Personale Hp(10)		Ambientale H*(10)		Min	Max	
					min	max	min	max			
W-60 (L1)	60	44,5	3,5mm Al+0,25mm Cu	0,18 Cu	4,30	63,47	6,66	881,04	278	591,30	
W-80 (L2)	80	56,3	3,5mm Al+0,45mm Cu	0,35 Cu	5,70	109,77	8,58	1486,53	3,22	895,50	
W-110 (L3)	110	78,5	3,5mm Al+2,0mm Cu	0,97 Cu	2,78	77,51	4,55	1018,31	1,66	598,50	
W-150 (L4)	150	104,0	3,5mm Al+1,0mm Sn	1,89 Cu	4,48	136,29	6,58	1799,88	2,53	1111,86	
W-200 (L5)	200	136,4	3,5mm Al+2,0mm Sn	3,15 Cu	5,68	180,53	8,39	2401,33	3,44	1579,82	
W-250 (L6)	250	171,7	3,5mm Al+4,0mm Sn	4,35 Cu	5,25	166,70	7,87	2287,08	3,41	1563,62	
W-300 (L7)	300	199,0	3,5mm Al+6,5mm Sn	5,21 Cu	6,05	158,92	9,18	2169,98	4,12	1561,14	
H-60 (A4)	60	36,4	2,9mm Al	2,41 Al	22,05	324,35	34,20	4526,06	19,53	3935,70	
MO1	25	15,9	0,06 mm Mo	0,36 Al	-	-	-	-	97,86	1252	
MO2	28	16,2	0,06 mm Mo	0,38 Al	-	-	-	-	120,5	1884	
MO3	35	17,1	0,06 mm Mo	0,43 Al	-	-	-	-	142,3	2760	
MO4	40	18,1	0,06 mm Mo	0,46 Al	-	-	-	-	149,3	3360	
RQR5	70	34,8	2,6mm Al	2,55 Al	-	-	-	-	29,33	7058	
RQR7	90	41,0	3,4mm Al	3,45 Al	-	-	-	-	35,30	10620	
RQR9	120	50,8	3,7mm Al	4,98 Al	-	-	-	-	42,26	16950	
Cs-137	-	660	Radiazione gamma	-	0,0011	6,87	0,0011	22,006	0,00093	18,34	
Am-241	-	59,7	Radiazione gamma	-	0,004	0,03	0,0041	0,0984	0,0024	0,055	
Co-60	-	1250	Radiazione gamma	-	0,0040	0,029	0,0040	0,093	0,0034	0,0805	



La scelta opportuna di geometria d'irraggiamento



Taratura di strumenti per la contaminazione

La contaminazione superficiale può essere definita come il deposito non programmato e avvenuto in maniera non controllata, su oggetti animati e non, di sostanze radioattive tale da costituire un rischio per gli operatori e un peggioramento delle condizioni operative (per es. aumentando il fondo in un sistema di rivelazione a basso fondo).



Classificazione della contaminazione

- Per tipo di radiazione emessa: α , β , γ
- Per possibilità di trasferimento:
 - fissa
 - mobile
- Per forma fisica:
 - deposito di polvere dall'aria
 - polvere sparsa
 - essiccazione di liquidi radioattivi sulla superficie
 - adsorbimento di gas come il tritio o di vapori come l'acqua tritiata



Tecniche di monitoraggio della contaminazione

Monitoraggio diretto

Quando il rivelatore si presenta direttamente alla superficie in esame o viceversa. Può essere usato solo in caso di superfici piane

Monitoraggio indiretto

Si usa quando il metodo diretto non si può applicare a causa di una geometria sfavorevole oppure c'è l'interferenza di altre radiazioni o quando sia necessario determinare se la contaminazione è fissa o mobile



Caratteristiche della strumentazione

Gli strumenti portatili devono essere scelti in base al tipo di radiazione che di norma dovrà essere nota, dovendo risultare sempre registrati, presso i luoghi di detenzione, i tipi di radioisotopi e le loro modalità di impiego.

Detti strumenti saranno scelti in funzione della geometria da investigare, nonché del tipo di ambiente in cui la misura deve essere effettuata.

Gli strumenti dovrebbero essere di semplice costruzione, robusti, affidabili, di sensibilità adeguata e soprattutto facilmente decontaminabili.

La strumentazione dovrà essere sottoposta ad un controllo periodico della taratura e del suo corretto funzionamento.





Riferimenti normativi

ISO 7503-1:2016

Measurement and evaluation of surface contamination -
Part 1: **General principles**

ISO 7503-2:2016

Measurement and evaluation of surface contamination -
Part 2: **Test method using wipe-test samples**

ISO 7503-3:2016

Measurement and evaluation of surface contamination - Part 3:
Apparatus calibration

ISO 8769:2016

Reference sources -- Calibration of surface contamination
monitors -- Alpha-, beta- and photon emitters



Taratura di strumenti per la contaminazione

Table A.1 — Reference sources for the determination of the instrument efficiency

Radio-nuclide	Emission type	Relative emission probability	Surface emission rate uncertainty [% , coverage factor $k = 2$]	Emission energy keV			
				Energy region for all alpha emitters			
^{241}Am	alpha	1,0	5	5 400 to 5 640			
				Energy regions for beta emitters (mean energy)			
				40 to 70	70 to 140	140 to 400	>400
^{14}C	beta	1,0	3	50 [157] ^b			
^{99}Tc	beta	1,0					
^{36}Cl	beta	0,98					
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	beta	1,0 each					
^{55}Fe	photon	0,29					
^{129}I	photon ^a	0,74					
^{57}Co	photon ^a	0,96					
^{137}Cs	photon ^a	0,85					
^{60}Co	photon ^a	2,0					
^a Supression of electron emission by means of film							
^b End-point energy $E_{\beta,\text{max}}$.							



Taratura di strumenti per la contaminazione

B.4 Example 3: Calibration for the radionuclide ^{99m}Tc

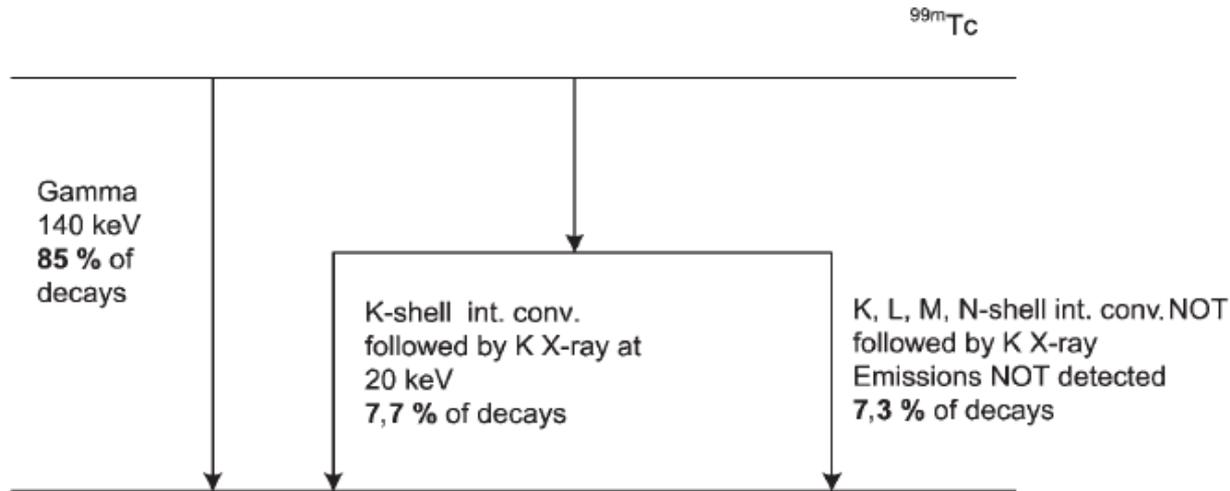


Figure B.3 — Decay scheme of ^{99m}Tc

^{99m}Tc decays by isomeric transition with the emission of a 140 keV photon or the emission of conversion electrons, X-rays and Auger electrons following the internal conversion process. It is assumed that the conversion electrons, Auger electrons and the L, M, N, etc. X-rays are of sufficiently low energy that they are not detected.

There are no cascade emissions to be taken into account. Therefore the activity instrument response factor is given by:

$$I(A)_{\text{Tc-}^{99m}} = S_p \cdot \left[0,85 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{140}}{E_{140,\gamma}} \right) \right\} + 0,077 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{20}}{E_{20,\gamma}} \right) \right\} \right] \quad (\text{B.2})$$

Consider a NaI detector 2 mm thick, Al window 14 mg cm^{-2} , where $\varepsilon_{20} = 1$ and $\varepsilon_{140} = 0,5$.



Taratura di strumenti e dispositivi per misurare il radon

Norma internazionale **IEC 61577**: Radiation protection instrumentation – Radon and radon decay product measuring instrument:

Part 1: General principles

Part 2: Specific requirements for radon measuring instruments

Part 3: Specific requirements for radon decay product measuring instruments

Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)

ISO 11655 (dal 2012 al 2016) → 13 parti

Measurement of radioactivity in the environment - Air: radon-222



Camere radon: taratura degli strumenti e dei dispositivi passivi

STAR: System for Test Atmospheres with Radon

Si compone di:

- equipaggiamento per produrre l'atmosfera;
- equipaggiamento per contenere l'atmosfera;
- atmosfera di riferimento così creata;
- equipaggiamento e metodi per monitorare l'atmosfera.



Camere radon: taratura degli strumenti e dei dispositivi passivi

Table 1 – Reference and standard test conditions

Influence quantity	Reference conditions	Standard test conditions
Temperature	20 °C	18 °C to 22 °C
Relative humidity	50 %	40 % to 60 %
Atmospheric Pressure	1 013 hPa	860 hPa to 1 060 hPa
Ambient γ dose rate		<0,25 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
Unattached fraction		<0,25
Volume number of aerosols	$10^{10} \text{ particle} \cdot \text{m}^{-3}$	$10^8 \text{ particule} \cdot \text{m}^{-3}$ to $10^{12} \text{ particule} \cdot \text{m}^{-3}$

Table A.1 – Atmosphere characteristic ranges (typical values)

	Working Ranges			
	Outdoor* atmosphere	Indoor** atmosphere	Underground atmosphere	Soil atmosphere
^{222}Rn volumic activity	10 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 50 $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$	10 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 100 $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$	100 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 1 $\text{MBq} \cdot \text{m}^{-3}$	100 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 1 $\text{MBq} \cdot \text{m}^{-3}$
^{220}Rn volumic activity	10 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 10 $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$	10 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 50 $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$	100 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 5 $\text{MBq} \cdot \text{m}^{-3}$	100 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to 1 $\text{MBq} \cdot \text{m}^{-3}$
Equilibrium factor F for ^{222}Rn	0,2 to 0,6	0,2 to 0,8	0,1 to 0,8	N/A (not applicable)



Camere radon: taratura degli strumenti e dei dispositivi passivi

ENEA – INMRI

il campione primario



Camere radon: taratura degli strumenti e dei dispositivi passivi

BfS



Camera da 30 m³

Contenitori in acciaio da 0.4 m³

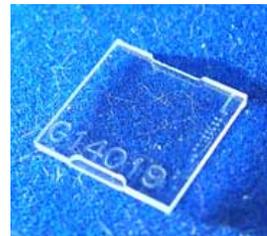


Bundesamt für Strahlenschutz



POLITECNICO MILANO 1863

Camere radon: strumenti e dispositivi passivi



Taratura con neutroni

ISO 8529-1:2001 (rivista nel 2008)

Reference neutron radiations - Part 1: Characteristics and methods of production

ISO 8529-2:2000

Reference neutron radiations - Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field



Neutroni veloci (Sorgente ISO AmBe, 1 Ci)



Attività

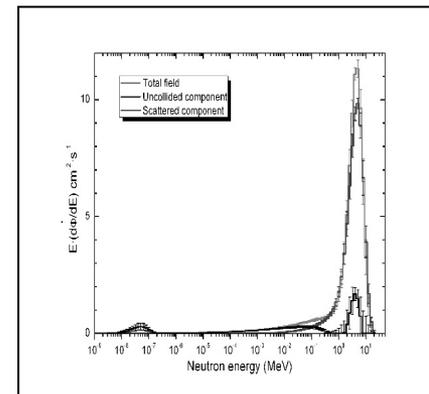
- Test e taratura Monitor di Neutroni (metodo ISO 8529-2)
- Test e taratura Dosimetri Personali di Neutroni (metodo ISO 8529-2)

Riferibilità:

- attività della sorgente determinata mediante strumento di transfer calibrato presso istituto metrologico primario inglese (National Physical Laboratory – NPL – London);
- campione di prima linea.

Facility caratterizzata mediante sistema di sfere di Bonner certificato

	Total field	Scattered component	Uncollided component
Φ ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	20.73 ± 0.80	3.8 ± 1.4	17.45 ± 0.75
H^* ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)	26.5 ± 1.3	2.5 ± 1.7	24.9 ± 1.2
h^* ($\text{pSv}\cdot\text{cm}^2$)	355.2 ± 2.4	40.1 ± 4.0	395.8 ± 2.5
% fluence	$E \leq 0.4 \text{ eV}$	2.7 %	14.7 %
	$1 \text{ eV} < E < 100 \text{ keV}$	9.3 %	39.3 %
	$E > 100 \text{ keV}$	88.0 %	46.0 %
% dose	$E \leq 0.4 \text{ eV}$	0.1 %	0.9 %
	$1 \text{ eV} < E < 100 \text{ keV}$	0.7 %	4.5 %
	$E > 100 \text{ keV}$	99.3 %	94.6 %



Centro di Irraggiamento e Servizio di Metrologia Neutronica

Facility di neutroni termici



- Camera di irraggiamento cilindrica 30 cm * 30 cm
- Caratterizzazione effettuata mediante sistema fogli d'oro (tecnica ISO) allineato con National Physical Laboratory – NPL – London

Valori di riferimento@ 5 cm dal piano nel volume di misura

Campo di neutroni

Rateo di dose* totale: $50 \pm 6\% \mu\text{Svh}^{-1}$ ($H^*(10)$)

Rateo di fluensa (n termici): $450 \pm 1\% \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

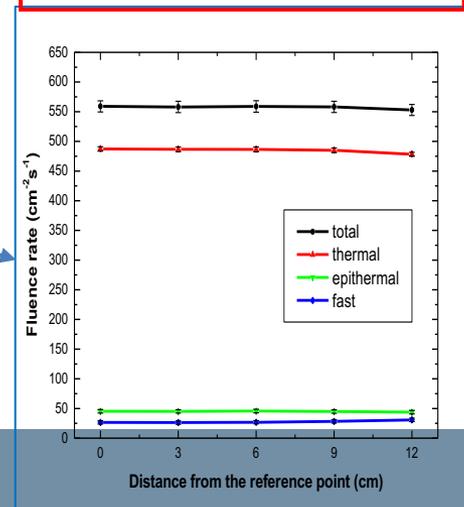
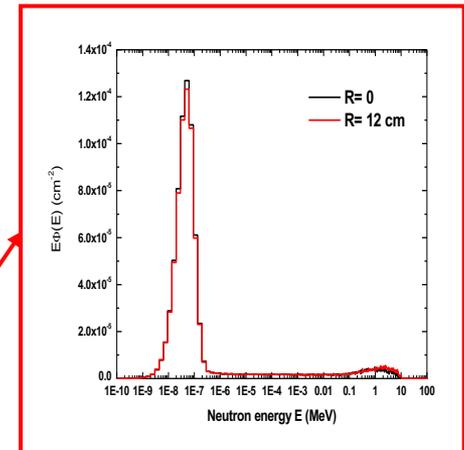
Rateo di dose* (n termici): $18 \pm 1\% \mu\text{Svh}^{-1}$

Rapporto termico/totale (in fluensa): **87%**

Variatione lungo il raggio: **0.9%**

Componente $n > 0.5 \text{ eV}$: **13%** del totale

* in termini di $H^*(10)$



Conclusioni

- Per ogni strumento è necessario conoscere il corretto funzionamento e quindi anche le opportune sorgenti di taratura
- Uno strumento deve essere tarato il più possibile nelle modalità di utilizzo, ma non sempre è possibile
- La taratura deve avvenire nei tempi stabiliti dalla normativa o comunque con una certa frequenza
- Lo strumento in taratura deve affidabile: spesso la taratura mette in luce problemi nello strumento stesso (purtroppo a volte anche che non è funzionante)



Grazie per l'attenzione!

luisella.garlati@polimi.it

