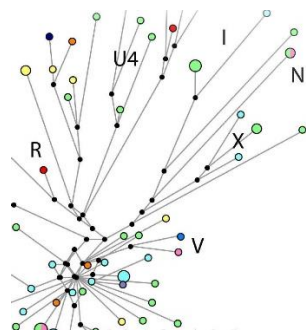




## Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

|                                    |                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Number</b>                      | 212                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Publication Year</b>            | 2022                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Acceptance in OA@INAF</b>       | 2022-12-20T11:43:35Z                                                                                                                                                                                   |
| <b>Title</b>                       | Misure isotopiche                                                                                                                                                                                      |
| <b>Authors</b>                     | SCHIAVONE, Filomena                                                                                                                                                                                    |
| <b>Affiliation of first author</b> | OAS Bologna                                                                                                                                                                                            |
| <b>Handle</b>                      | <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12386/32785">http://hdl.handle.net/20.500.12386/32785</a> ;<br><a href="https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/212">https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/212</a> |

## Misure isotopiche eseguite con spettrometria gamma



Questo lavoro rendiconta le attività delle sorgenti di taratura esaminate, ricavate dalle misure eseguite con spettrometria gamma presso i laboratori CNR nel settembre 2020 e che risultano sostanzialmente consistenti con i valori nominali attesi.

Filomena Schiavone”, Sonia Albertazzi \*, Luciano Lembo §

“INAF OAS

\*CNR ISMAR Istituto di Scienze Marine

§Nuclear Services

## Elenco degli acronimi

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| CNR   | Consiglio Nazionale delle Ricerche  |
| DL    | Datore di Lavoro                    |
| EQ    | Esperto Qualificato                 |
| GEM   | Rivelatore ORTEC GEM 45190          |
| GEM X | Rivelatore ORTEC GMX 40220          |
| IAEA  | Internationale Atomic Energy Agency |
| ISMAR | Istituto di Scienze Marine          |
| RWL   | Recommended Weight Limit            |
| WL    | Working Life                        |

## Sommario

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| <i>Introduzione e scopo del documento</i> ..... | 3  |
| <i>Misure isotopiche presso CNR ISMAR</i> ..... | 4  |
| <i>Conclusioni</i> .....                        | 26 |
| Smaltimento .....                               | 27 |
| Acquisto nuove sorgenti.....                    | 28 |
| Smear test.....                                 | 28 |
| Miglioramento dell'archivio .....               | 28 |
| Allegato 1.....                                 |    |

## Documenti di riferimento

D.Lgs. 101/2020

GammaVision Nuclide Library OAS.Lib

Relazione Periodica EQ 12 luglio 2019

Norme Interne di Radioprotezione e Sicurezza 2018      Rapporto Tecnico INAF OAS n. 10, 2018

Gestione\_Banca Sorgenti      Rapporto Tecnico INAF IASF BO n. 699, 2017

## Premessa

Il presente documento recepisce il suggerimento del 12 luglio 2019 dell'Esperto Qualificato OAS relativo alla possibilità di prevedere lo smaltimento attraverso ditta autorizzata delle sorgenti di taratura decadute, con bassissima attività residua e non più utilizzate a causa della loro inefficienza radiologica.

Questo anche alla luce della necessità di elaborare un'istanza di nulla osta di Cat.B di cui all'art. 50 per le sorgenti di taratura detenute, al fine di tutelare l'Osservatorio per il possibile stato di inadempienza autorizzativa conseguente alle nuove disposizioni di legge stabilite per le attività di "ricerca" dal c.2 lett. b) dell'art. 50 del recente D.Lgs. 101/2020 relative alla detenzione delle sorgenti n. 17 e n. 18 non notificate agli enti vigilanti alla data dell'acquisto.



### Introduzione e scopo del documento

La Struttura INAF OAS di Bologna fruisce di una serie di sorgenti radioattive “sigillate”, utilizzate per la messa a punto e la taratura dei propri sistemi di rivelazione delle radiazioni.

Di seguito è riportato l’elenco completo delle sorgenti detenute al momento della stesura del documento, con specificazione, per ciascuna di esse, dell’attività, delle caratteristiche fondamentali, del numero interno di identificazione e dell’attività al 24-9-19.

Ai fini di quanto in Premessa e nell’ambito di un progetto di

smaltimento, è stato fondamentale il reperimento dei certificati di origine di tutte le sorgenti radioattive detenute da OAS per la valutazione della radiazione residua.

Purtroppo la ricerca in archivio dei certificati forniti dal produttore non ha dato esito positivo e ne sono stati rintracciati solo 5 su 18.



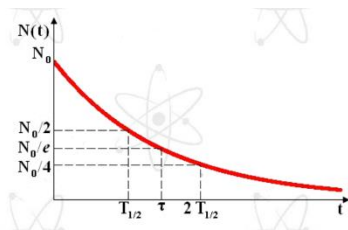
| Radionuclide | Bq         | kBq     | Cod-interno | Data Riferimento |
|--------------|------------|---------|-------------|------------------|
| Am-241       | 383748     | 384     | 01          | 31/12/1982       |
| Co-60        | 16000      | 16      | 02          | 31/12/1982       |
| Am-241       | 349608     | 350     | 03          | 01/05/1984       |
| Cs-137       | 1570647    | 1571    | 04          | 15/10/1984       |
| Cs-137       | 166520     | 167     | 05          | 30/11/1984       |
| Fe-55        | 125771     | 126     | 06          | 30/05/1985       |
| Ba-133       | 122193     | 122     | 07          | 11/05/1990       |
| Na-22        | 2649       | 3       | 08          | 01/07/1992       |
| Co57         | 0,02       | 0,00    | 09          | 15/06/1997       |
| Co 57        | 0,16       | 0,00    | 10          | 07/01/1999       |
| Co57         | 0,17       | 0,00    | 11          | 10/02/1999       |
| Y-88         | 0,00       | 0,00    | 12          | 20/03/2000       |
| Co-57        | 1,4        | 0,00    | 13          | 10/08/2000       |
| Co-57 (*)    | 5,8        | 0,0     | 14          | 01/03/2002       |
| Co-57 (*)    | 49,2       | 0,0     | 15          | 15/06/2004       |
| Cd-109 (*)   | 21926,7    | 21,9    | 16          | 15/06/2004       |
| Cd-109 (*)   | 37660712,6 | 37660,7 | 17          | 17/10/2017       |
| Co-57 (*)    | 16908337,0 | 16908,3 | 18          | 22/02/2018       |

**Tab. 1** Elenco completo delle sorgenti radioattive solide sigillate in possesso dell’Istituto

- (\*) sorgenti con certificati di origine

Scopo di questo report è stato di valutare le procedure da seguire, ai fini dello smaltimento, per le sorgenti detenute prive di certificato (13 su 18).

Si è resa necessaria, in mancanza dei certificati di origine, la valutazione dell'attività sia per le sorgenti decadute che quelle ancora da utilizzare. Sono stati vagliati due possibili percorsi:



1-certificazione di ogni singolo radionuclide in temine di attività e tipo di radionuclide presso un centro esterno certificato

2-realizzazione in collaborazione con i colleghi CNR ISMAR, dotati di strumentazione idonea, della valutazione dell'attività di tutte le sorgenti senza certificato.

La prima ha evidenziato costi onerosi e limiti normativi da parte delle ditte smaltitrici contattate che, di norma, richiedono obbligatoriamente la certificazione iniziale.

Si è deciso quindi di perseguire il secondo approccio che, a valle della campagna di misure di seguito illustrata, ha permesso all'Esperto Qualificato di stilare un elenco di sorgenti corredato dalle rispettive attività (Tab. 4) e di confrontare i valori determinati con lo storico del Registro di Radioprotezione OAS in dotazione all'Istituto sin dalla sua fondazione. Si è così verificato che le sorgenti da smaltire, considerata la loro bassa attività ed il loro storico annotato sui Registri, potrebbero essere ritirate dalla ditta smaltitrice in un'unica soluzione. In questo caso, non sarebbe necessario caratterizzare tutte le sorgenti, tenuto anche conto che alcune sorgenti di Co57 o Y88 sarebbero impossibili da caratterizzare per la loro attività sostanzialmente nulla. In allegato 1 una sintesi dei desiderata redatta dall'EQ.

| Radionuclide | Bq      | kBq  | Cod-interno |
|--------------|---------|------|-------------|
| Am-241       | 383748  | 384  | 01          |
| Am-241       | 349608  | 350  | 03          |
| Ba-133       | 122193  | 122  | 07          |
| Cs-137       | 1570647 | 1571 | 04          |
| Cs-137       | 166520  | 167  | 05          |
| Fe-55        | 125771  | 126  | 06          |
| Na-22        | 2649    | 2,6  | 08          |

**Tab. 2** Sorgenti solide sigillate caratterizzate tramite spettrometria gamma - Attività al 24-9-19

| Radionuclide | Bq    | Cod-interno |
|--------------|-------|-------------|
| Co-60        | 16000 | 02          |
| Co-57        | 0,02  | 09          |
| Co-57        | 0,16  | 10          |
| Co-57        | 0,17  | 11          |
| Co-57        | 1,4   | 13          |
| Co-57        | 5,8   | 14          |
| Co-57        | 49,2  | 15          |
| Y-88         | 0,00  | 12          |

**Tab. 3** Sorgenti solide sigillate da smaltire- Attività al 24-9-19

Di seguito il Report con i risultati delle misure del lotto di sorgenti da smaltire (Tab. 3) e di quello delle sorgenti non esauste che si intende ancora utilizzare (Tab. 2) e senza certificato, il logbook delle misure e le librerie utilizzate. Il setup di misura in cui si è operato è configurato per campioni di sedimenti marini e le librerie energetiche utilizzate nelle analisi, anche se modificate, sono ottimizzate sulle righe energetiche dei "naturali" e non degli "artificiali".



*Misure isotopiche presso CNR ISMAR*

## MISURE SORGENTI OAS

Il laboratorio di Radiometria dell'Istituto di Scienze Marine (ISMAR) del CNR, sede di Bologna ha come obiettivo principale l'analisi di radionuclidi, sia naturali che artificiali, presenti nei sedimenti e nel materiale particellato. Lo scopo è quello di calcolare cronologie degli strati sedimentari, tassi di accumulo, flussi e velocità di processi marini attraverso l'uso di traccianti radioattivi. A tal fine si utilizzano sia radionuclidi gamma emettitori artificiali ( $^{137}\text{Cs}$ ) e naturali ( $^7\text{Be}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) che radionuclidi alfa emettitori naturali ( $^{210}\text{Po}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ).

Il laboratorio è dotato di 2 rivelatori gamma, di 8 rivelatori alfa e di 1 rivelatore beta. Il laboratorio funziona ininterrottamente 24 ore su 24, per 365 giorni l'anno.

Nel laboratorio di radiometria, la misura per spettrometria gamma è effettuata mediante due rivelatori: uno coassiale ORTEC EG&G al germanio intrinseco, modello GMX-20195 che permette di evidenziare emettitori di basse energie (da circa 40 keV), un secondo analogo rivelatore al germanio intrinseco, modello GEM-20200, che non risolvendo le basse energie, è impiegato principalmente per la determinazione di radionuclidi con emissione di radiazione gamma sopra i 200 keV, entrambi i rivelatori sono collegati ad un sistema di spettrometria gamma integrato Modello DSPEC - Ortec.

L'analisi e la successiva lettura e calibrazione degli spettri forniti come output dai due strumenti, è effettuata tramite software Gammavision - Ortec.

*Nell'attività normale del laboratorio*, l'efficienza dei rivelatori è calcolata utilizzando sedimento tracciato con soluzioni standard multipicco (QCY58) posto in capsule con geometrie standard (ml 5-10-15-20), l'accuratezza delle analisi è controllata periodicamente con un sedimento certificato (IAEA 300 Baltic Sea Sediment).

La precisione e l'accuratezza ottenute sono state verificate con la partecipazione del laboratorio di radiometria dell'ISMAR di Bologna ad intercalibrazioni a livello internazionale, in particolare con l'IAEA (International Atomic Energy Agency – Analytic Quality Control Service) con ottimi risultati, variano a seconda della composizione del campione.

- Utilizzo libreria ad hoc OAS.LIB basandosi sulle energie dei radionuclidi consigliate dalla I.A.E.A (Update of X ray and gamma ray decay data standards for detector calibration and other applications - Volume 1 - Recommended decay data, high energy gamma ray standards and angular correlation coefficients – 2007)

- Specifiche tecniche setup sperimentale rivelatori soglie...
- Ogni campione è stato contato con tempi di misura variabili (da 15” a 85.000”) a seconda dell’attività del campione.
- Per alcuni problemi tecnici è risultato impossibile calcolare attività campioni con elaborazione automatica dello spettro, per cui molti spettri sono stati calcolati “manualmente”.
- Non avendo a disposizione un’efficienza per sorgenti puntiforme come i campioni abbiamo utilizzato le efficienze normalmente utilizzate in laboratorio per avere un’indicazione approssimativa della reale attività dei campioni.
- Vengono riportati gli spettri di ogni singolo campione per entrambi i rivelatori.
- Problemi fondo per misure lunghe... confronti spettri con naturali

### Note

Calcolo efficienza am-241 utilizzando camp. 03,

efficienza base (12 g sed.: 22.33%)

Setup strumentale: sorgenti a contatto non collimate

Fe-55 non determinabile in quanto beta puro

### STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Rivelatori: \* ORTEC GEM 45190 \* ORTEC GMX 40220

Materiale: HPGe (P type)

Materiale: HPGe (N type)

Geometria: Coassiale

Geometria: Coassiale

Endcup: Al 1,5mm

Endcup: Be 0,5mm

Efficienza Relativa (NaI): 49%

Efficienza Relativa (NaI): 43%

FWHM (1332,5 keV): 1,80 keV

FWHM (1332,5 keV): 2,10 keV

Rapporto P-to-C: 73:1

Rapporto P-to-C: 53:1

Elettronica di acquisizione:

Sistema di spettrometria ORTEC 92X

Sistema di spettrometria ORTEC DSPEC jr 2.0

Sorgenti utilizzate per la taratura:

Standard

***Materiale di riferimento utilizzato per la verifica in geometria equivalente e composizione chimica differente: Campione interconfronto IAEA-CU-2009-03 Sample 01 Moss-soil costituito da una miscela di marmo rosso e muschio in contenitore cilindrico 100 ml (densità 0,9 g/cm<sup>3</sup>).***

I risultati sono riportati nelle varie tabelle per ogni singola sorgente ma i valori sono approssimativi, in quanto affetti dall'utilizzo di un'efficienza non reale per la tipologia della sorgente. Le efficienze utilizzate si riferiscono a campioni di sedimento di 12 ml, posti in contenitori cilindrici del diametro di 7cm (circa) uguale a quello del rivelatore, mentre le sorgenti sono quasi puntiformi con diametro di 1 mm.

Ciò nonostante i valori ottenuti sono molto vicini a quelli ipotizzati all'origine.

La maggior parte delle sorgenti sono state misurate su entrambi i rivelatori (GEM e GMX), con tempi variabili di misura in funzione del contenuto in attività.

Sorgente n. 7 risulta un po' più bassa, ma dato l'elevato numero di energie gamma emesse dal Ba-133, occorrerà approfondire...

Nelle sorgenti di Co-57 è risultato presente anche il Co-60, e nelle sorgenti 13 e 14 trovate anche tracce di Cs-137.



INAF - Elenco completo delle sorgenti radioattive solide sigillate detenute

| Radionuclide | Bq         | kBq     | Cod-interno | DataRiferimento |
|--------------|------------|---------|-------------|-----------------|
| Am-241       | 383748     | 384     | 01          | 31/12/1982      |
| Co-60        | 16000      | 16      | 02          | 31/12/1982      |
| Am-241       | 349608     | 350     | 03          | 01/05/1984      |
| Cs-137       | 1570647    | 1571    | 04          | 15/10/1984      |
| Cs-137       | 166520     | 167     | 05          | 30/11/1984      |
| Fe-55        | 125771     | 126     | 06          | 30/05/1985      |
| Ba-133       | 122193     | 122     | 07          | 11/05/1990      |
| Na-22        | 2649       | 3       | 08          | 01/07/1992      |
| Co-57        | 0,02       | 0,00    | 09          | 15/06/1997      |
| Co-57        | 0,16       | 0,00    | 10          | 07/01/1999      |
| Co-57        | 0,17       | 0,00    | 11          | 10/02/1999      |
| Y-88         | 0,00       | 0,00    | 12          | 20/03/2000      |
| Co-57        | 1,4        | 0,00    | 13          | 10/08/2000      |
| Co-57 (*)    | 5,8        | 0,0     | 14          | 01/03/2002      |
| Co-57 (*)    | 49,2       | 0,0     | 15          | 15/06/2004      |
| Cd-109 (*)   | 21926,7    | 21,9    | 16          | 15/06/2004      |
| Cd-109 (*)   | 37660712,6 | 37660,7 | 17          | 17/10/2017      |
| Co-57 (*)    | 16908337,0 | 16908,3 | 18          | 22/02/2018      |

Attività al 24-9-19

**(\*) SORGENTI CON CERTIFICATI ORIGINE**

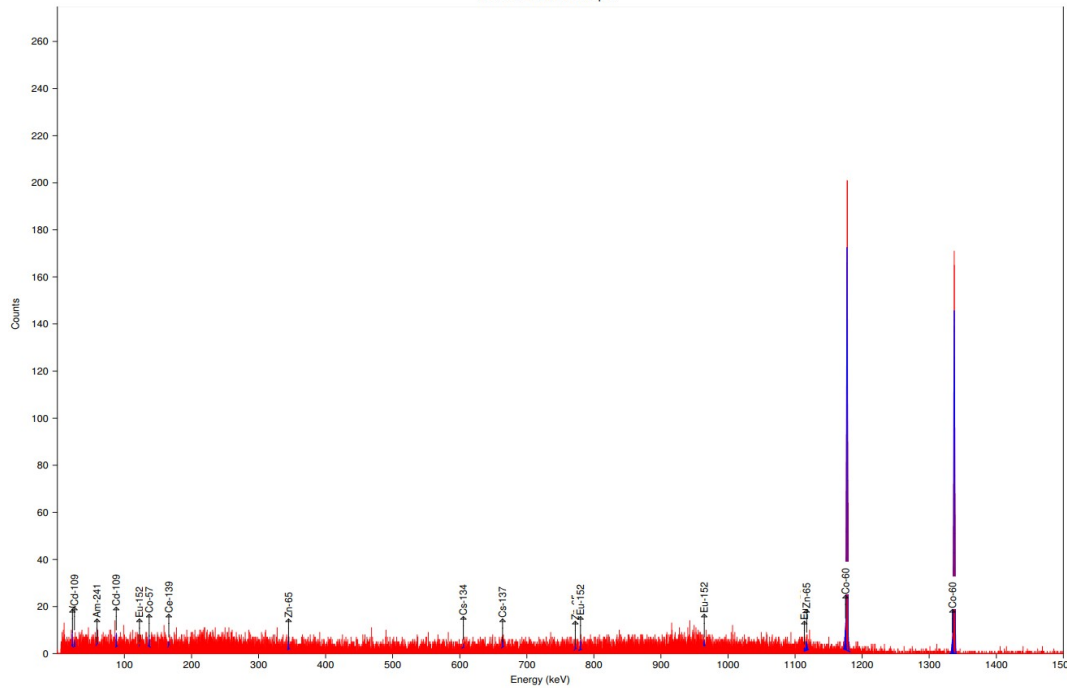
### Sorgenti sigillate da smaltire

| <b>Radionuclide</b> | <b>Bq</b>    | <b>Cod-interno</b> |
|---------------------|--------------|--------------------|
| <b>Co-60</b>        | <b>16000</b> | 02                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>0,02</b>  | 09                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>0,16</b>  | 10                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>0,17</b>  | 11                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>1,4</b>   | 13                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>5,8</b>   | 14                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>49,2</b>  | 15                 |
| <b>Y-88</b>         | <b>0,00</b>  | 12                 |

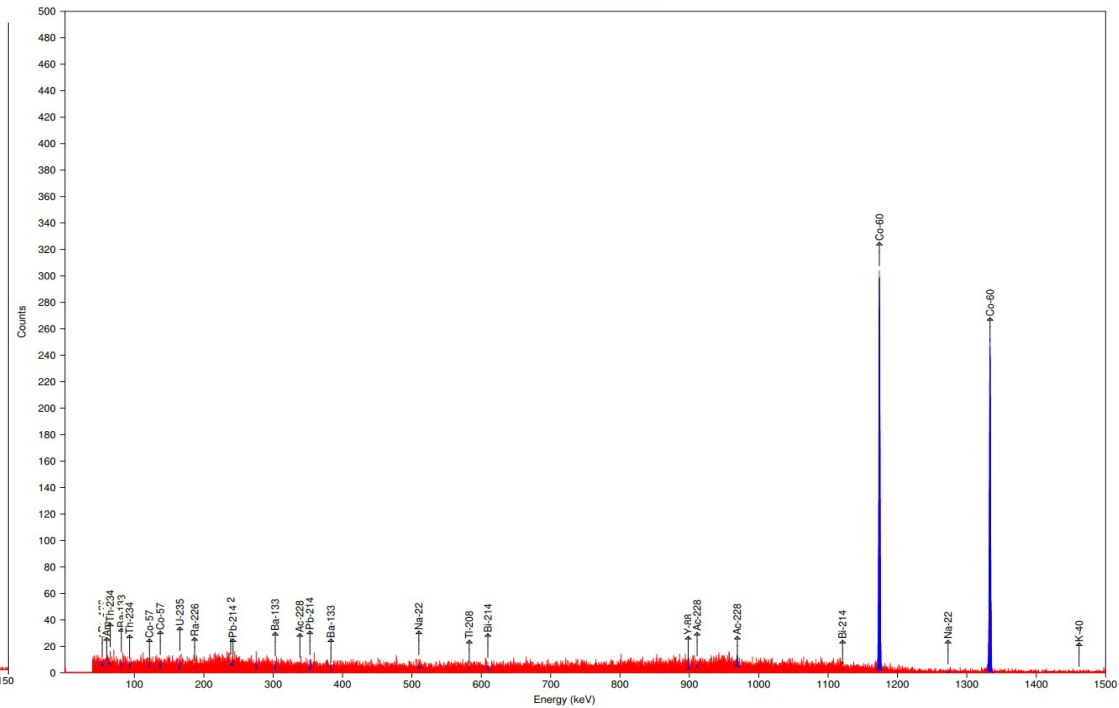
Attività al 24-9-19

| Cod.        | 02         | Nuclide | Co-60 | Bq  | 16.000 | al           | 24/09/2019 |     |              |     |       |     |        |     |      |  |
|-------------|------------|---------|-------|-----|--------|--------------|------------|-----|--------------|-----|-------|-----|--------|-----|------|--|
|             |            |         |       |     |        | 1173,228 keV |            |     | 1332,492 keV |     |       |     |        |     |      |  |
| Data misura | rivelatore | sec"    | dead% | cps | colpi  | +/-          | Bq         | +/- | FWHM         | cps | colpi | +/- | Bq     | +/- | FWHM |  |
| 21/10/2019  | GMX        | 15      | 6,6   | 117 | 1.761  | 45           | 7.104      | 182 | 1,70         | 103 | 1.552 | 42  | 6.380  | 173 | 1,76 |  |
|             | GMX        | 15      | 6,6   | 118 | 1.722  | 48           | 7.148      | 199 | 1,77         | 105 | 1.578 | 46  | 6.487  | 189 | 1,93 |  |
|             | GMX        | 15      | 6,6   | 119 | 1.789  | 48           | 7.217      | 194 | 1,74         | 106 | 1.595 | 49  | 6.557  | 201 | 1,87 |  |
|             | GEM        | 15      | 21,3  | 190 | 2.843  | 63           | 12.743     | 282 | 1,85         | 171 | 2.567 | 56  | 14.035 | 306 | 1,85 |  |
|             | GEM        | 15      | 21,22 | 202 | 3.024  | 59           | 13.042     | 254 | 1,91         | 162 | 2.437 | 58  | 13.666 | 325 | 1,88 |  |
|             | GEM        | 15      | 21,22 | 210 | 2.972  | 62           | 13.474     | 281 | 1,75         | 179 | 2.688 | 56  | 14.492 | 302 | 1,70 |  |

GMX 2. Co-60-023.Spc.

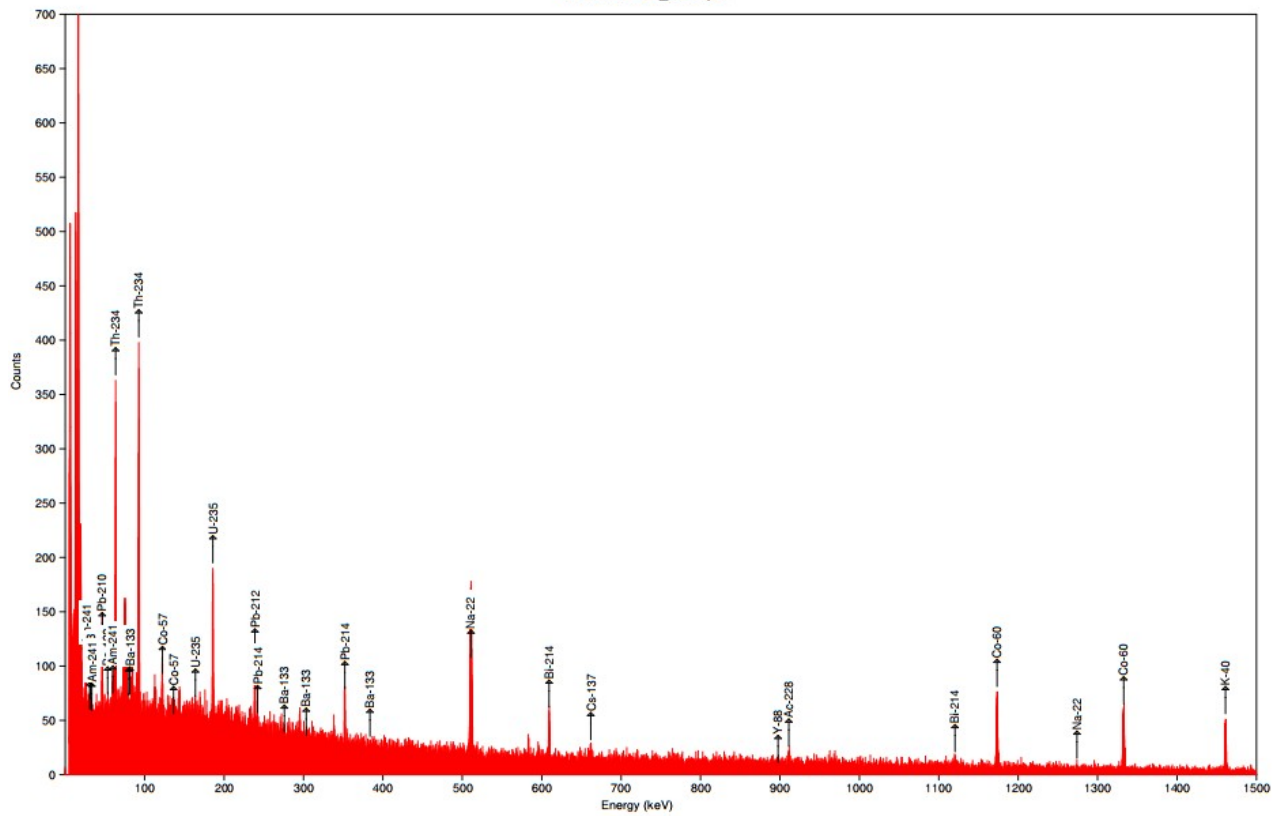


GEM 1. GEM\_Co-60(02)1.Spc.



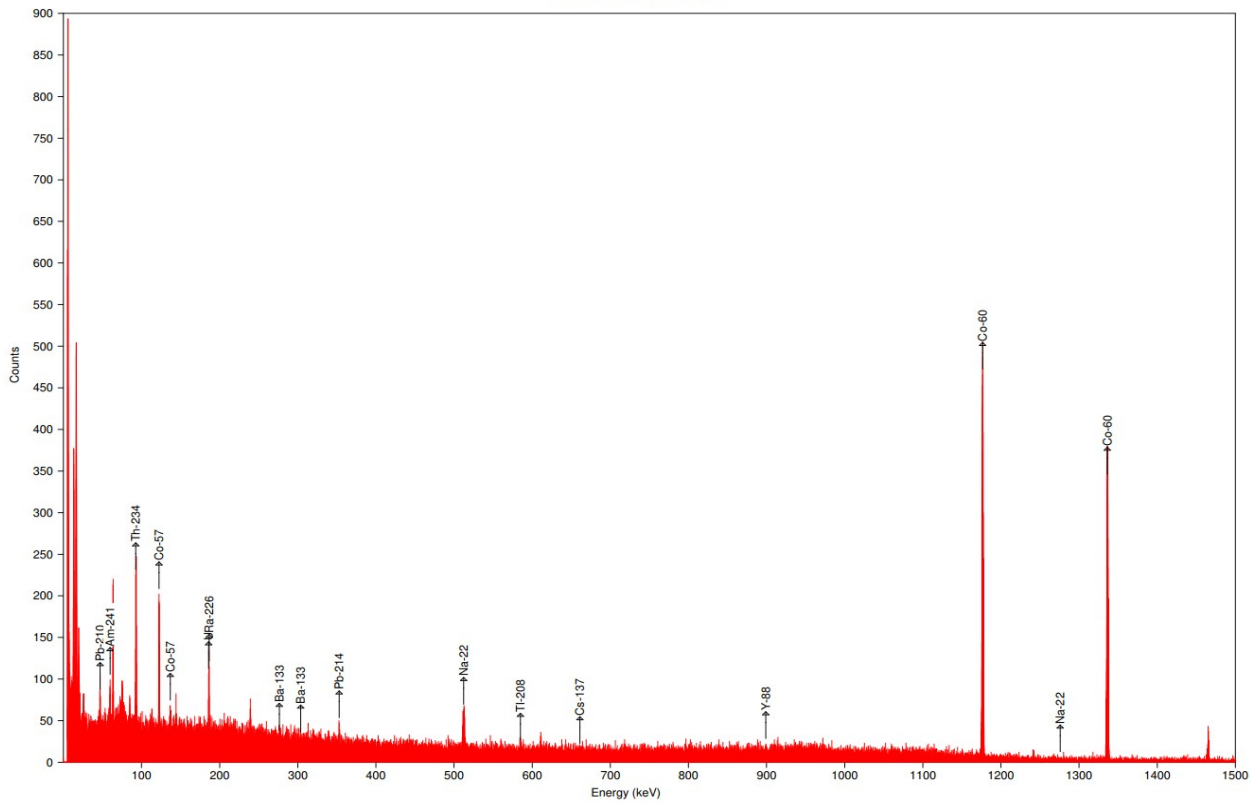
| Cod. 09     | Nuclide    | Co-57 | Bq    | 0,02 al      | 24/09/2019   |             |             |
|-------------|------------|-------|-------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Data misura | rivelatore | sec"  | dead% | Co-57        | Co-60        |             |             |
|             |            |       |       | Bq           | +/-          | Bq          | +/-         |
| 18/10/2019  | GMX        | 85000 | 0,2   | <b>0,024</b> | <b>0,007</b> | <b>0,47</b> | <b>0,02</b> |
| 19/10/2019  | GMX        | 85000 | 0,2   | <b>0,028</b> | <b>0,006</b> | <b>0,43</b> | <b>0,02</b> |
| 20/10/2019  | GMX        | 75216 | 0,2   | <b>0,026</b> | <b>0,007</b> | <b>0,37</b> | <b>0,03</b> |

GMX 2. Co-57\_091.Spc.



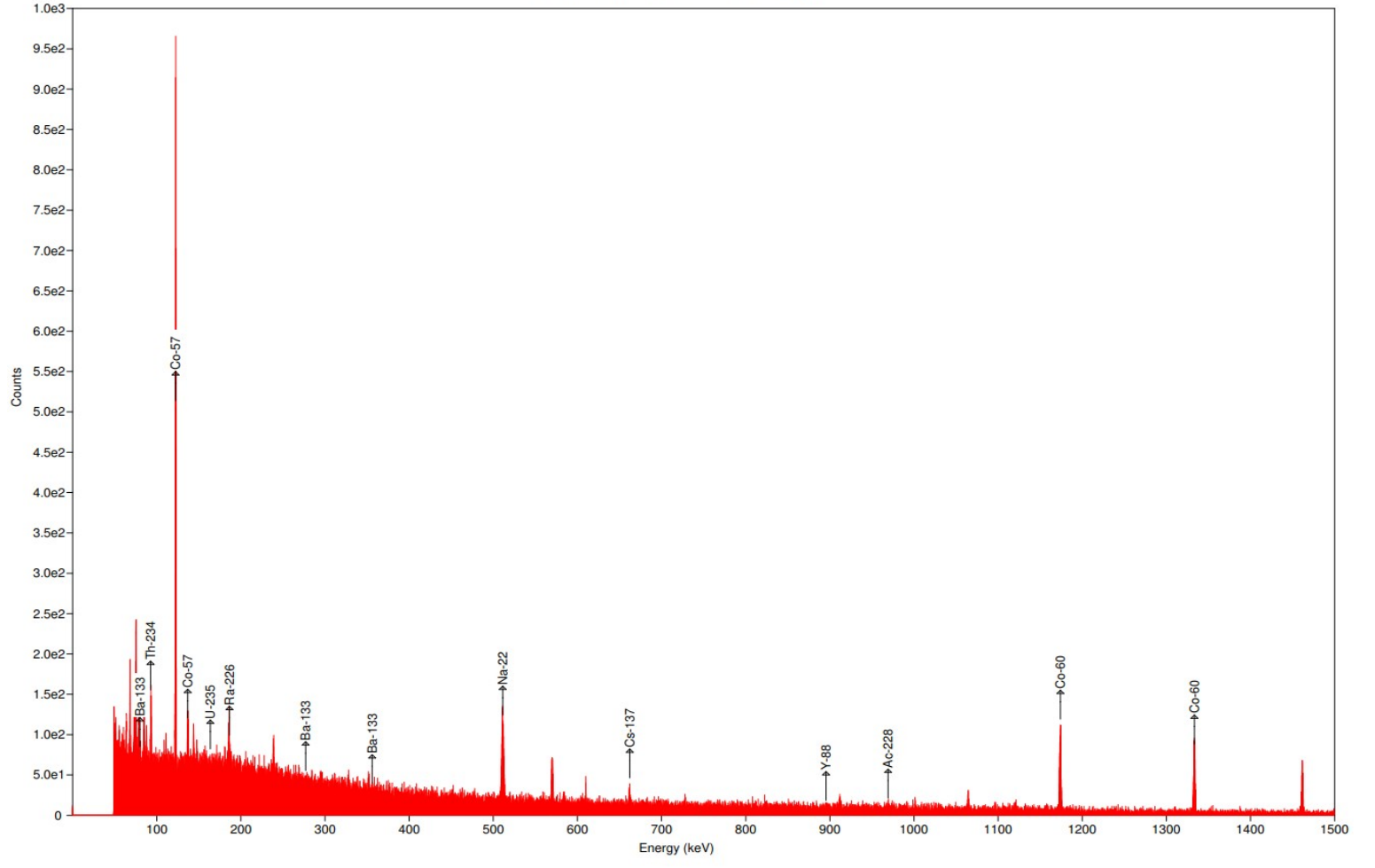
|                |                |              |           |                |                   |
|----------------|----------------|--------------|-----------|----------------|-------------------|
| <b>Cod. 10</b> | <b>Nuclide</b> | <b>Co-57</b> | <b>Bq</b> | <b>0,16 al</b> | <b>24/09/2019</b> |
| Data misura    | rivelatore     | sec"         | dead%     | <b>Co-57</b>   | <b>Co-60</b>      |
|                |                |              |           | <b>Bq</b>      | <b>+/-</b>        |
|                |                |              |           | <b>Bq</b>      | <b>+/-</b>        |
| 17/10/2019     | GMX            | 53.539       | 0,21      | <b>0,120</b>   | <b>0,009</b>      |
|                |                |              |           | <b>4,29</b>    | <b>0,08</b>       |

GMX 2. Co-57\_10mix.Spc.



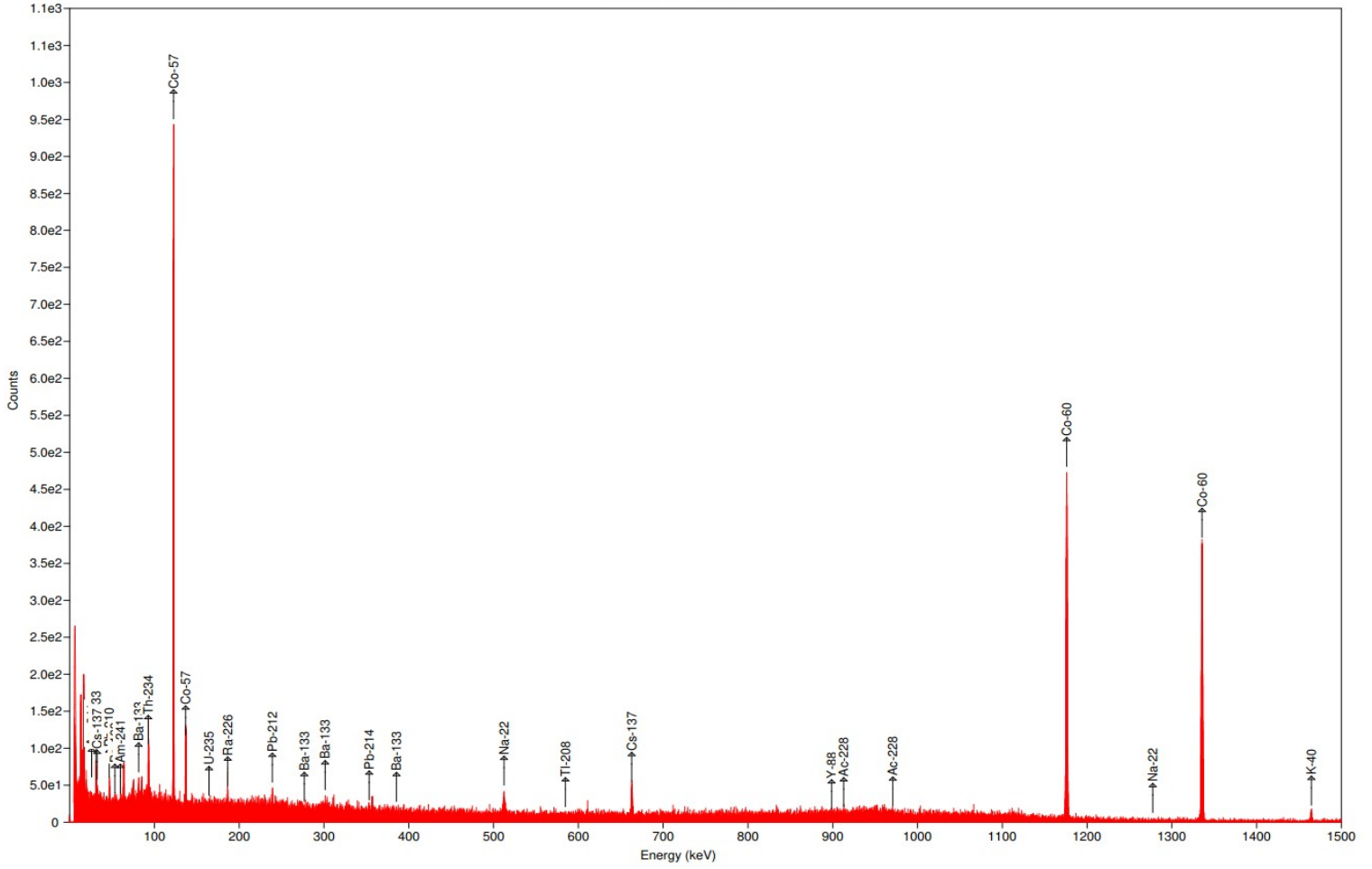
| Cod. 11<br>+ 12 |            | Nuclide | Co-57<br>+ Y-88 | Bq 0,16<br>0,00 |      | al 24/09/2019 |      |        |      |
|-----------------|------------|---------|-----------------|-----------------|------|---------------|------|--------|------|
| Data misura     | rivelatore | sec"    | dead%           | Co-57           |      | Co-60         |      | Y-88   |      |
|                 |            |         |                 | Bq              | +/-  | Bq            | +/-  | Bq     | +/-  |
| 17/10/2019      | GEM        | 76.786  | 0,18            | 0,07            | 0,01 | 0,66          | 0,04 | 0,04   | 0,02 |
| 18/10/2019      | GEM        | 80.697  | 0,18            | 0,21            | 0,01 | 0,63          | 0,03 | < 0,04 |      |

GEM 1. GEM\_Co-57\_11-Y88\_12-b.Spc.



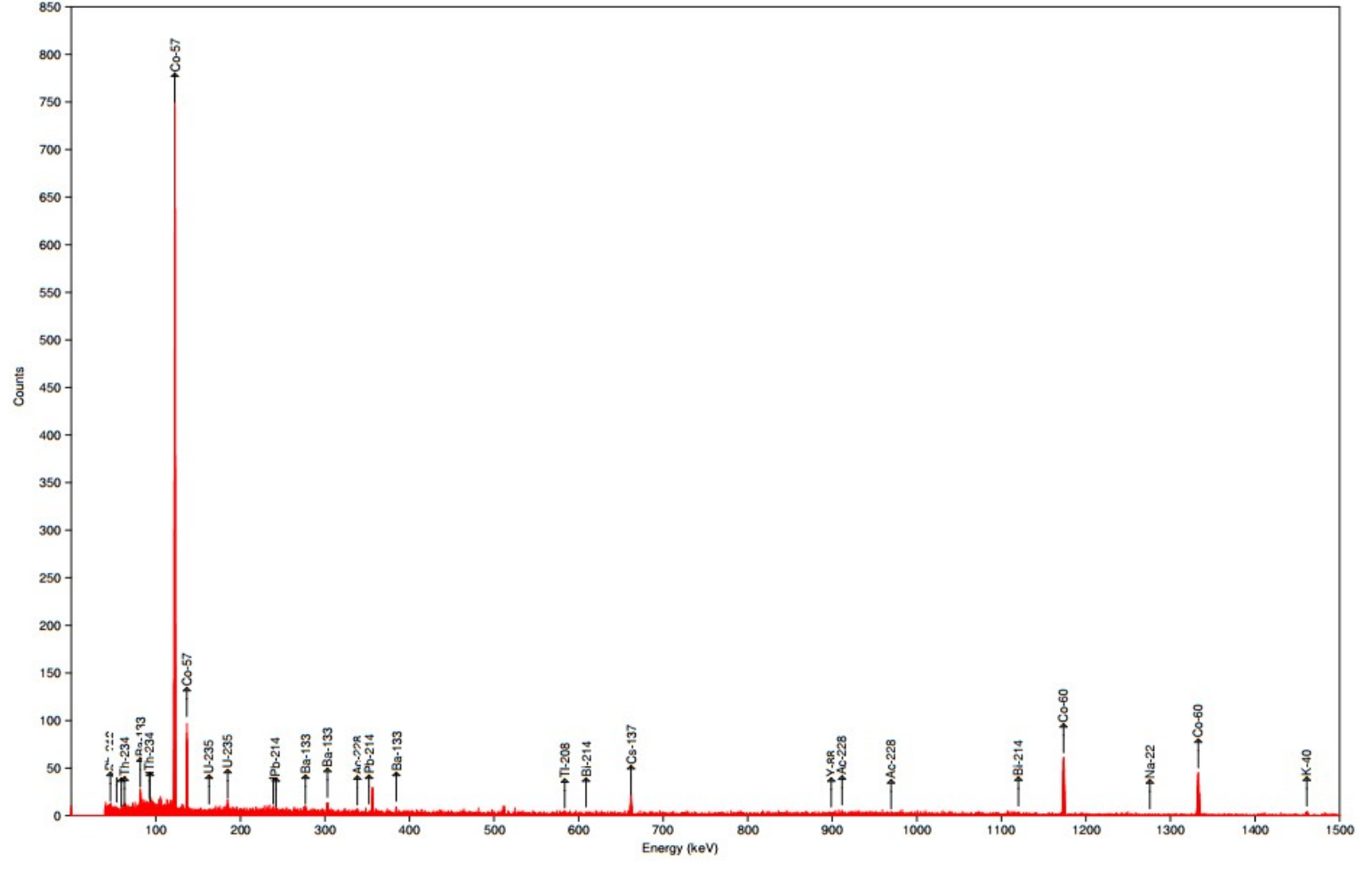
| Cod. 13     | Nuclide    | Co-57  | Bq    | 1,4   | al    | 24/09/2019 |      |      |      |
|-------------|------------|--------|-------|-------|-------|------------|------|------|------|
| Data misura | rivelatore | sec"   | dead% | Co-57 | Co-60 | Cs-137     |      |      |      |
|             |            |        |       | Bq    | +/-   | Bq         | +/-  | Bq   | +/-  |
| 17/10/2019  | GMX        | 900    | 0,22  | 1,28  | 0,13  | 8,10       | 0,80 |      |      |
| 18/10/2019  | GMX        | 24.317 | 0,21  | 1,45  | 0,04  | 9,52       | 0,17 | 0,72 | 0,08 |

GMX 2. Co-57\_13b.Spc.



| Cod. 14     | Nuclide    | Co-57 | Bq    | 5,8   | al    | 24/09/2019 |     |      |     |
|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|------------|-----|------|-----|
| Data misura | rivelatore | sec"  | dead% | Co-57 | Co-60 | Cs-137     |     |      |     |
|             |            |       |       | Bq    | +/-   | Bq         | +/- | Bq   | +/- |
| 17/10/2019  | GEM        | 5.000 | 0,20  | 9,21  |       | 6,75       |     | 1,07 |     |
| 17/10/2019  | GEM        | 5.000 | 0,20  | 8,63  |       | 6,82       |     | 1,01 |     |
| 17/10/2019  | GEM        | 5000  | 0,20  | 8,61  |       | 6,21       |     | 1,07 |     |

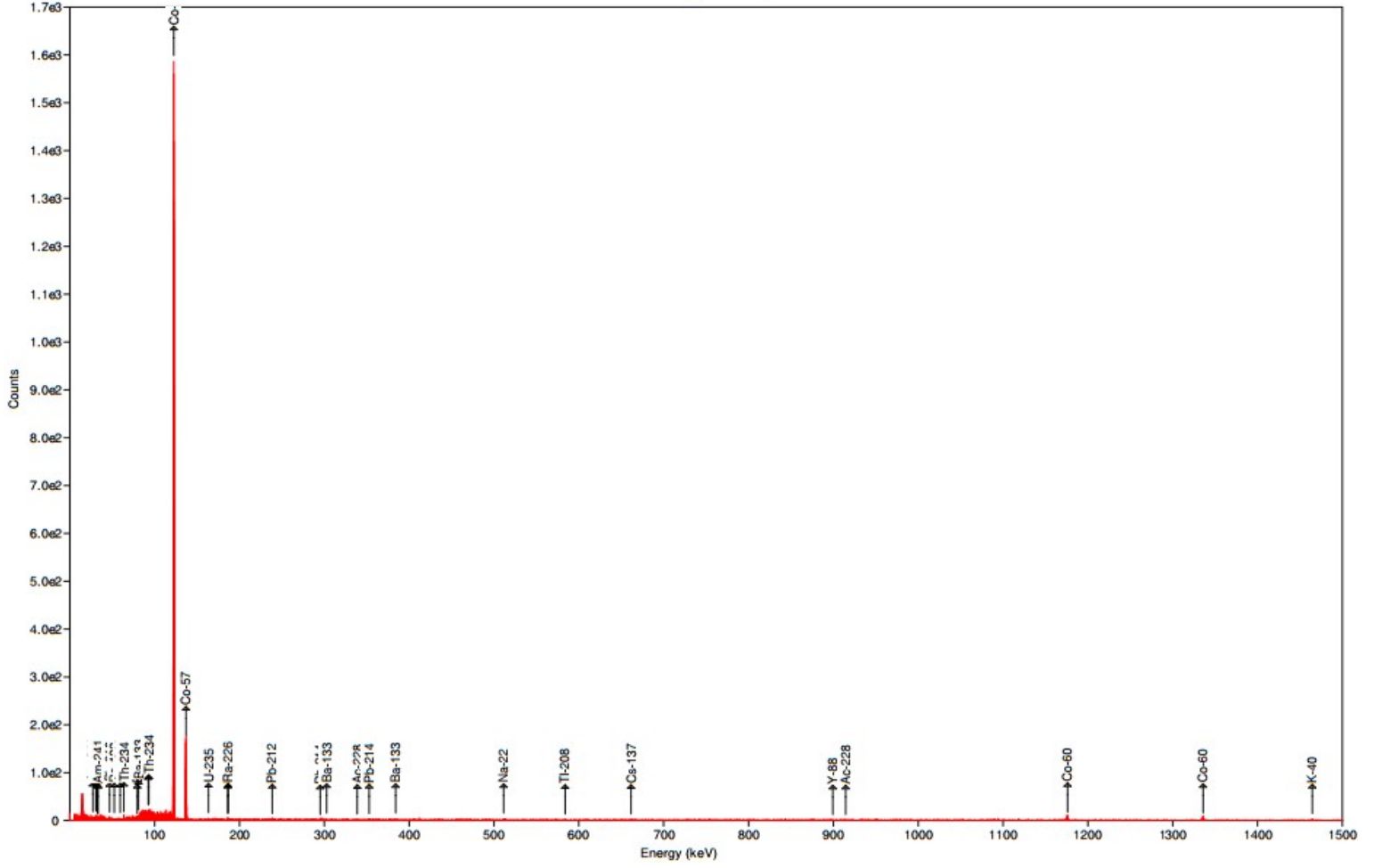
GEM 1. GEM\_Co-57\_14-022. Spc.





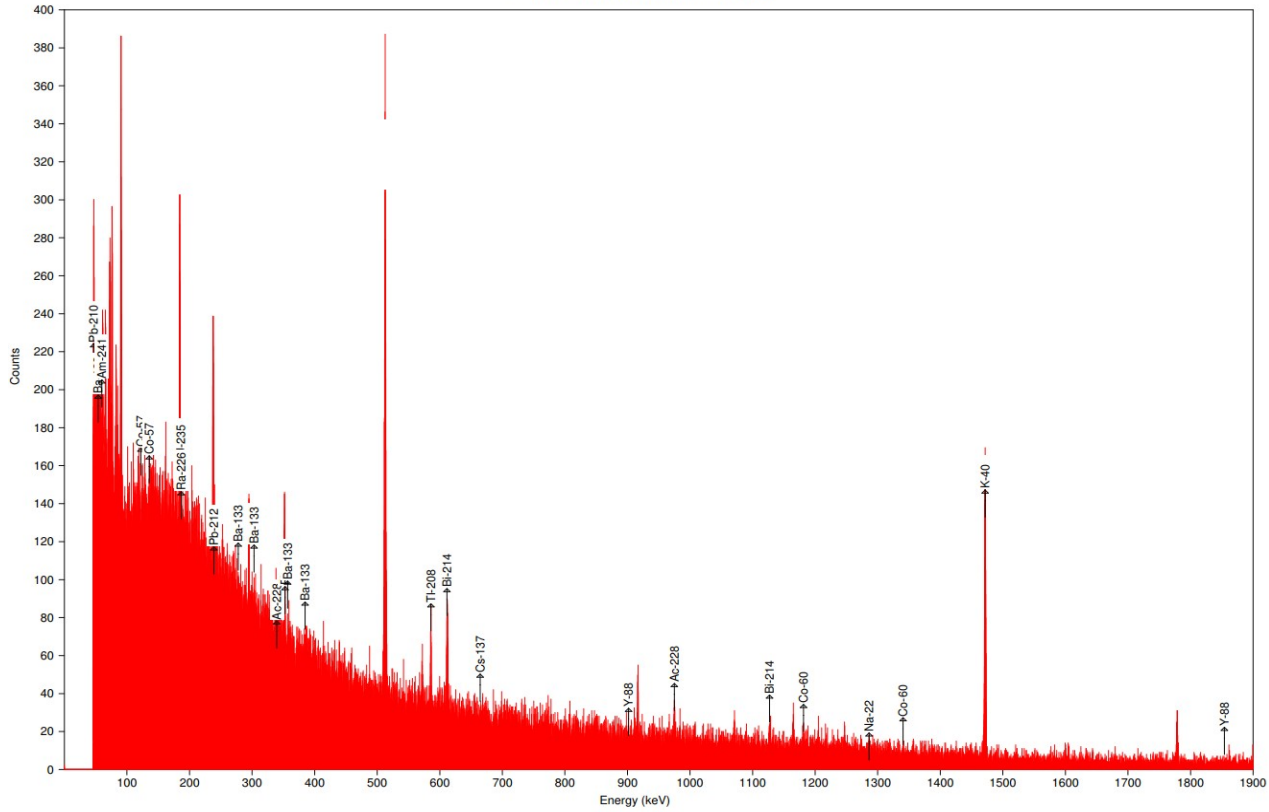
|                |            |                |              |              |             |              |                   |
|----------------|------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|
| <b>Cod. 15</b> |            | <b>Nuclide</b> | <b>Co-57</b> | <b>Bq</b>    | <b>49,2</b> | <b>al</b>    | <b>24/09/2019</b> |
| Data misura    | rivelatore | sec"           | dead%        | <b>Co-57</b> |             | <b>Co-60</b> |                   |
|                |            |                |              | <b>Bq</b>    | <b>+/-</b>  | <b>Bq</b>    | <b>+/-</b>        |
| 17/10/2019     | GMX        | 1.500          | 0,24         | <b>38,83</b> | <b>0,30</b> | <b>2,70</b>  | <b>0,40</b>       |
| 17/10/2019     | GMX        | 1.500          | 0,23         | <b>39,12</b> | <b>0,40</b> | <b>2,15</b>  | <b>0,40</b>       |
| 17/10/2019     | GMX        | 1500           | 0,23         | <b>39,91</b> | <b>0,40</b> | <b>2,24</b>  | <b>0,40</b>       |

GMX 2. Co-57\_15-020.Spc.



| Cod. 12     |            | Nuclide | Y-88  | Bq      | 0,00 al | 24/09/2019 |
|-------------|------------|---------|-------|---------|---------|------------|
| Data misura | rivelatore | sec"    | dead% | Y-88    |         |            |
|             |            |         |       | Bq      | +/-     |            |
| 18/10/2019  | GMX        | 180.000 | 0,18  | < 0,014 |         |            |
| 20/10/2019  | GMX        | 63.666  | 0,18  | < 0,024 |         |            |

GEM 1. GEM\_Y88\_120SPETTRO.Spc.

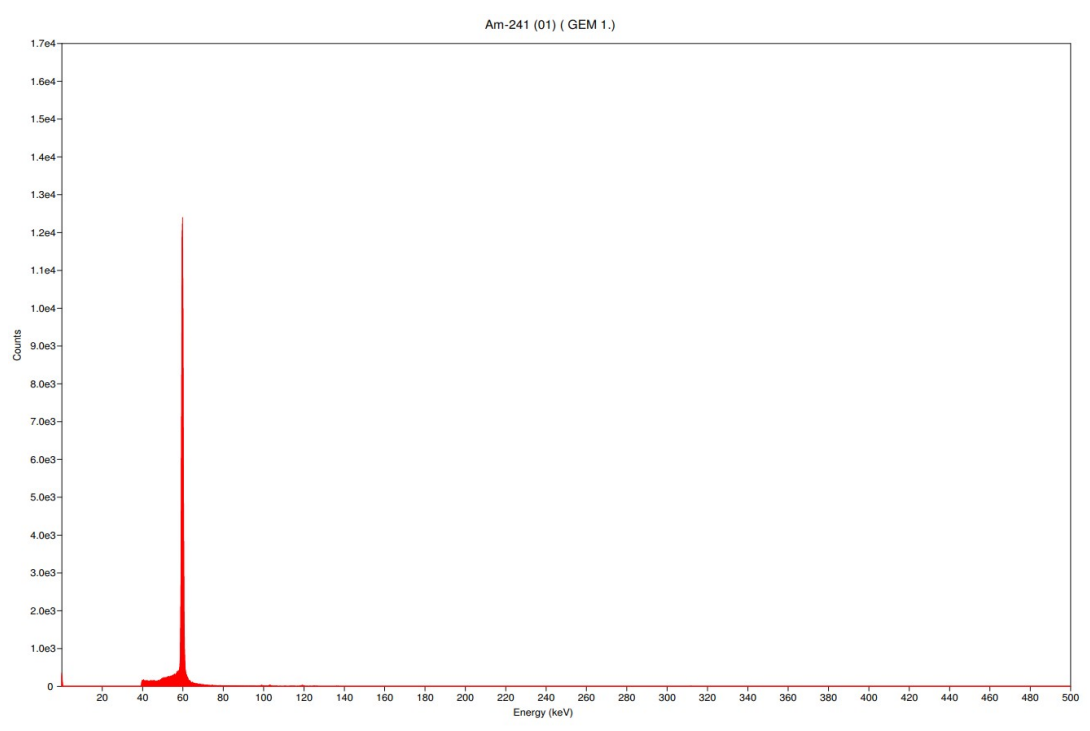
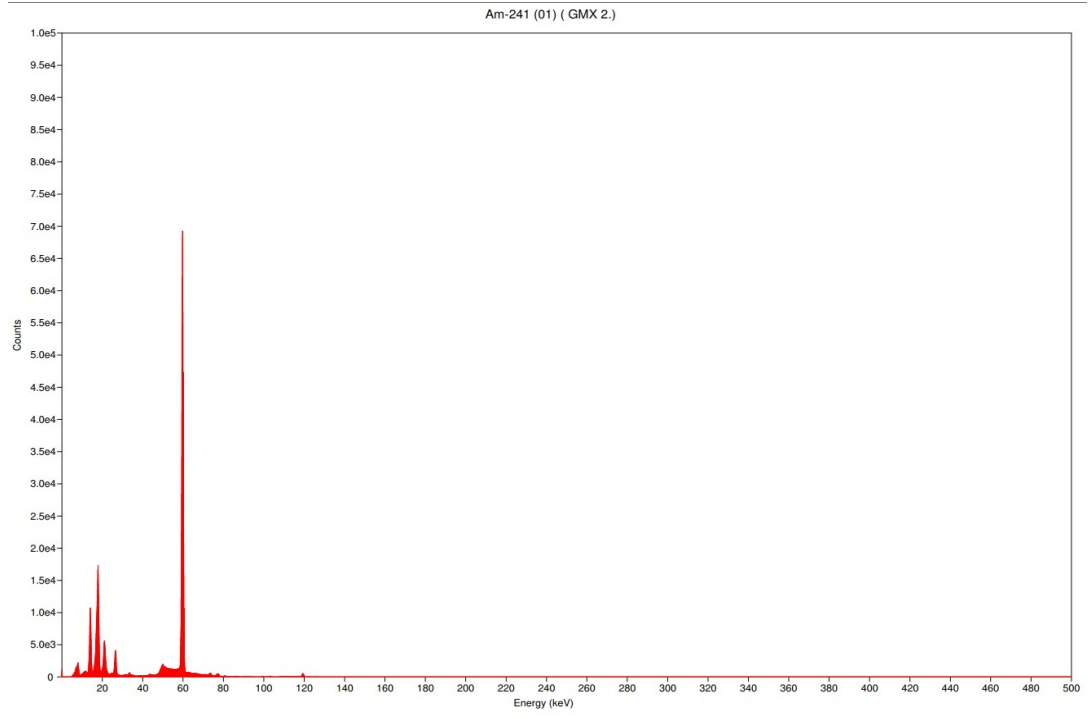


**Sorgenti solide sigillate da caratterizzare tramite  
spettrometria gamma**

| <b>Radionuclide</b> | <b>Bq</b>      | <b>kBq</b>  | <b>Cod-interno</b> |
|---------------------|----------------|-------------|--------------------|
| <b>Am-241</b>       | <b>383748</b>  | <b>384</b>  | <b>01</b>          |
| <b>Am-241</b>       | <b>349608</b>  | <b>350</b>  | <b>03</b>          |
| <b>Ba-133</b>       | <b>122193</b>  | <b>122</b>  | <b>07</b>          |
| <b>Cs-137</b>       | <b>1570647</b> | <b>1571</b> | <b>04</b>          |
| <b>Cs-137</b>       | <b>166520</b>  | <b>167</b>  | <b>05</b>          |
| <b>Fe-55</b>        | <b>125771</b>  | <b>126</b>  | <b>06</b>          |
| <b>Na-22</b>        | <b>2649</b>    | <b>2,6</b>  | <b>08</b>          |

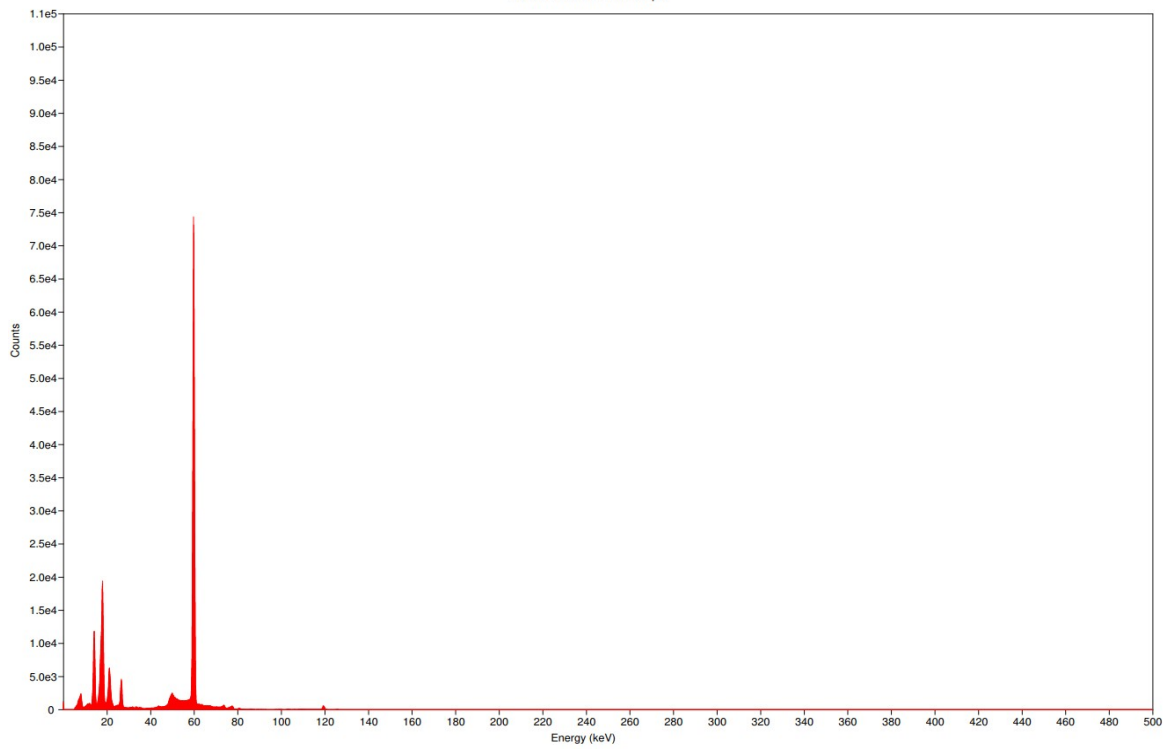
Attività riferite al 24-9-19

| Cod. 01     | Nuclide    | Am-241 | Bq     | 383.748 | al  | 24/09/2019     |       |      |       |
|-------------|------------|--------|--------|---------|-----|----------------|-------|------|-------|
| Data misura | rivelatore | sec"   | cps    | colpi   | +/- | Bq             | +/-   | FWHM | dead% |
| 21/10/2019  | GMX        | 5,56   | 29.522 | 164.140 | 428 | <b>335.200</b> | 874   | 0,88 | 83,71 |
|             | GMX        | 8,24   | 22.740 | 187.381 | 457 | <b>258.200</b> | 630   | 0,88 | 83,65 |
|             | GMX        | 1,14   | 23.668 | 26.981  | 173 | <b>268.700</b> | 1.723 | 0,87 | 83,65 |
|             | GMX        | 12,88  | 25.284 | 325.652 | 604 | <b>287.100</b> | 532   | 0,89 | 83,65 |
|             | GMX        | 15     | 23.024 | 345.356 | 624 | <b>261.400</b> | 472   | 0,89 | 83,64 |
|             | GEM        | 15     | 4.305  | 64.848  | 290 | <b>217.351</b> | 972   | 0,99 | 32,55 |
|             | GEM        | 15     | 4.369  | 65.534  | 292 | <b>221.759</b> | 988   | 0,99 | 32,68 |

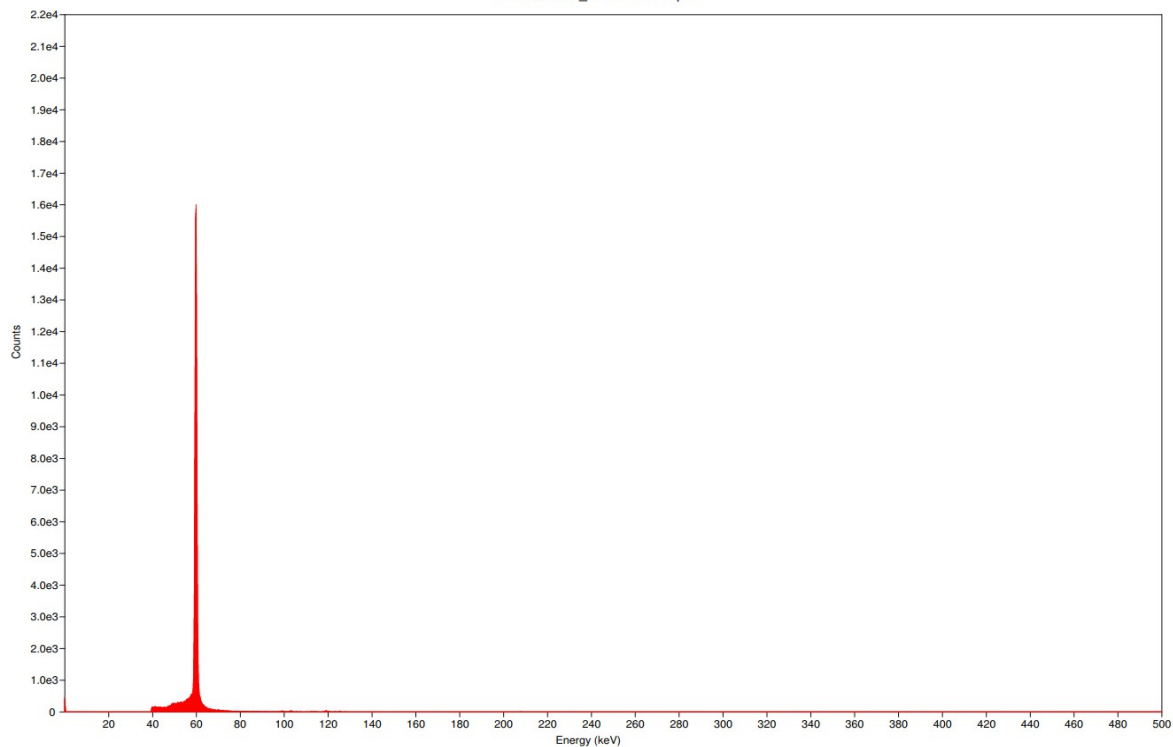


| Cod. 03     | Nuclide    | Am-241 | Bq     | 349.608 | al  | 24/09/2019     |       |      |       |
|-------------|------------|--------|--------|---------|-----|----------------|-------|------|-------|
| Data misura | rivelatore | sec"   | cps    | colpi   | +/- | Bq             | +/-   | FWHM | dead% |
| 21/10/2019  | GMX        | 15     | 22.931 | 343.958 | 643 | <b>260.300</b> | 487   | 0,87 | 84,77 |
|             | GMX        | 15     | 22.906 | 343.593 | 622 | <b>260.100</b> | 471   | 0,87 | 84,74 |
|             | GEM        | 15     | 5.720  | 85.796  | 336 | <b>293.251</b> | 1.148 | 1,00 | 37,55 |
|             | GEM        | 15     | 5.761  | 86.414  | 336 | <b>291.878</b> | 1.135 | 1,00 | 37,60 |

GMX 2. Am-241-030.Spc.



GEM 1. GEM\_Am-241-030.Spc.



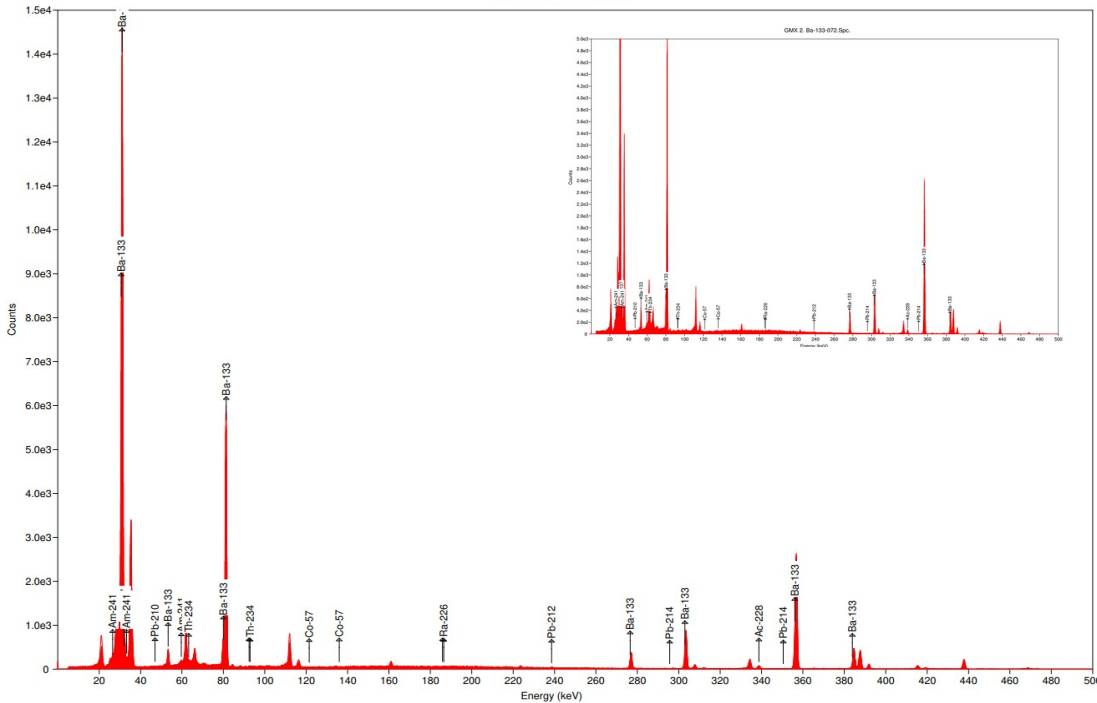
Cod. 07 Nuclide Ba-133 Bq 122.193 al 24/09/2019

80,9979 keV

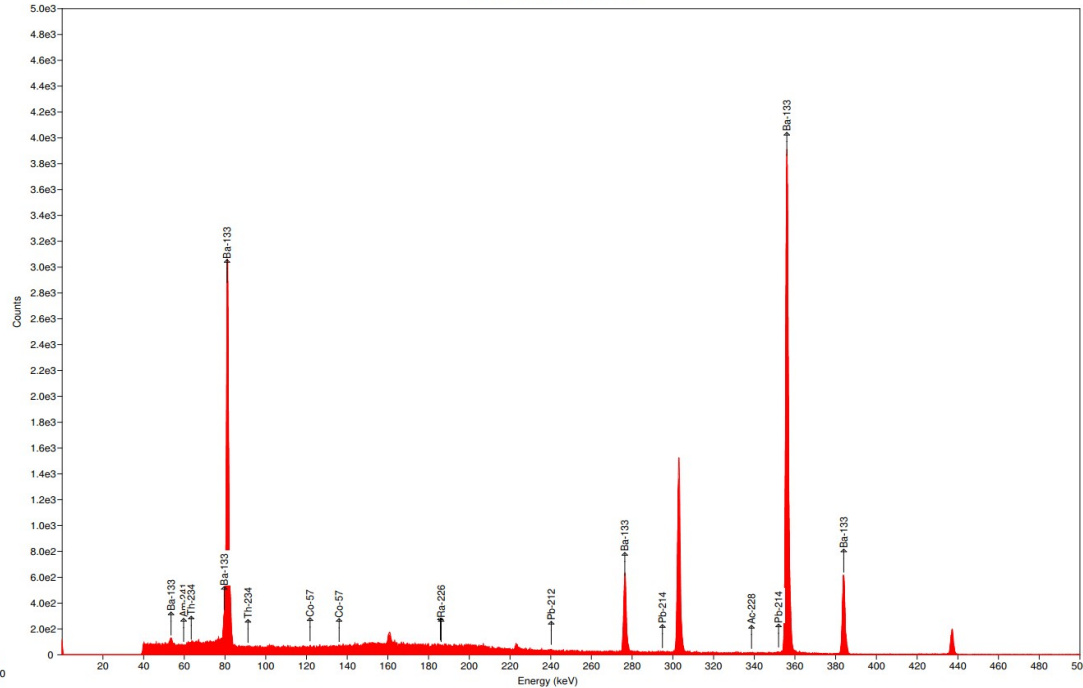
356,0129 keV

| Data misura | rivelatore | sec" | dead% | cps   | colpi  | +/- | Bq     | +/- | FWHM | cps   | colpi  | +/- | Bq     | +/- | FWHM |
|-------------|------------|------|-------|-------|--------|-----|--------|-----|------|-------|--------|-----|--------|-----|------|
| 21/10/2019  | GMX        | 15   | 49,29 | 1.663 | 24.950 | 190 | 30.070 | 229 | 0,85 | 1.035 | 15.521 | 132 | 34.850 | 296 | 1,18 |
|             | GMX        | 15   | 49,29 | 1.673 | 25.095 | 190 | 30.250 | 229 | 0,87 | 1.049 | 15.728 | 132 | 35.320 | 296 | 1,13 |
|             | GMX        | 15   | 49,26 | 1.663 | 24.952 | 190 | 30.070 | 229 | 0,86 | 1.041 | 15.613 | 133 | 35.060 | 299 | 1,11 |
|             | GEM        | 15   | 39,47 | 1.109 | 16.641 | 178 | 36.720 | 393 | 1,15 | 1.979 | 29.689 | 185 | 56.993 | 355 | 1,39 |
|             | GEM        | 15   | 39,56 | 1.136 | 17.042 | 179 | 35.120 | 369 | 1,08 | 1.978 | 29.666 | 197 | 56.950 | 378 | 1,39 |
|             | GEM        | 15   | 39,47 | 1.222 | 18.330 | 183 | 37.780 | 377 | 1,13 | 1.984 | 29.755 | 196 | 57.120 | 376 | 1,41 |

GMX 2. Ba-133-072.Spc.

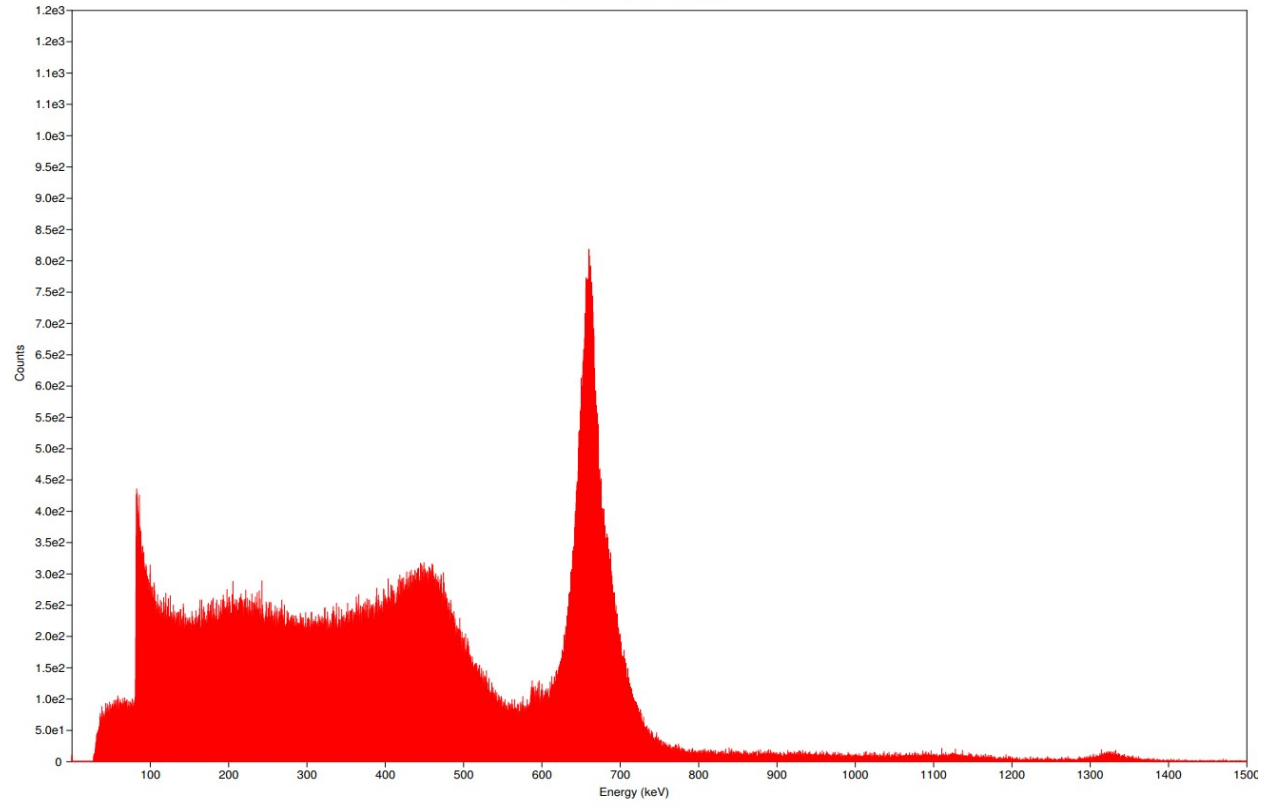


GEM 1. GEM\_Ba-133-073.Spc.

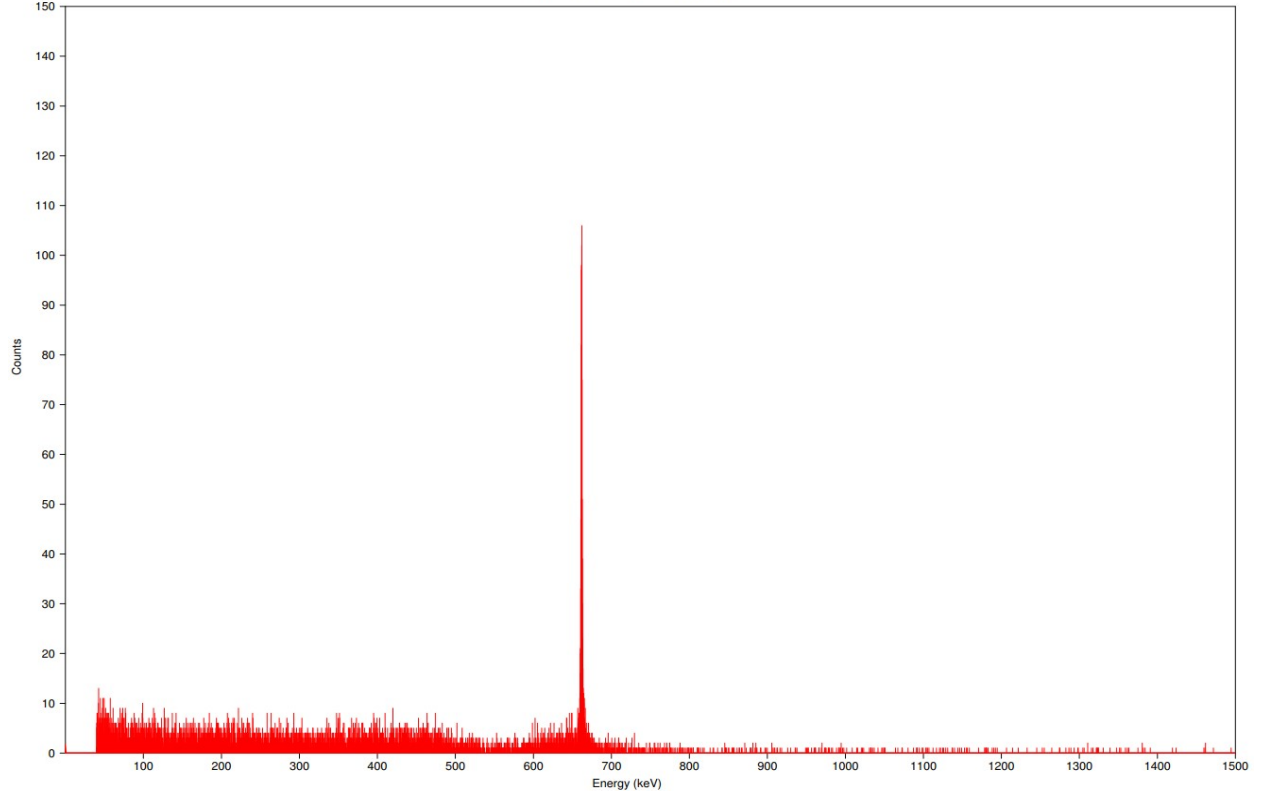


| Cod. 04     | Nuclide    | Cs-137 | Bq    | 1.570.647 | al      | 24/09/2019 |                  |        |       |
|-------------|------------|--------|-------|-----------|---------|------------|------------------|--------|-------|
| Data misura | rivelatore | sec"   | dead% | cps       | colpi   | +/-        | Bq               | +/-    | FWHM  |
| 21/10/2019  | GMX        | 0,86   | 99,82 | 4.551     | 39.174  | 1.296      | <b>2.313.000</b> | 76.521 | 27,89 |
|             | GMX        | 1,1    | 99,81 | 37.832    | 41.615  | 1.265      | <b>1.921.000</b> | 58.394 | 27,87 |
|             | GMX        | 3,08   | 99,78 | 42.184    | 129.927 | 2.188      | <b>2.142.000</b> | 36.072 | 29,76 |
|             | GEM        | 34     | 76,93 | 24        | 827     | 43         | <b>896</b>       | 47     | 1,29  |

GMX 2. Cs-137-04c.Spc.

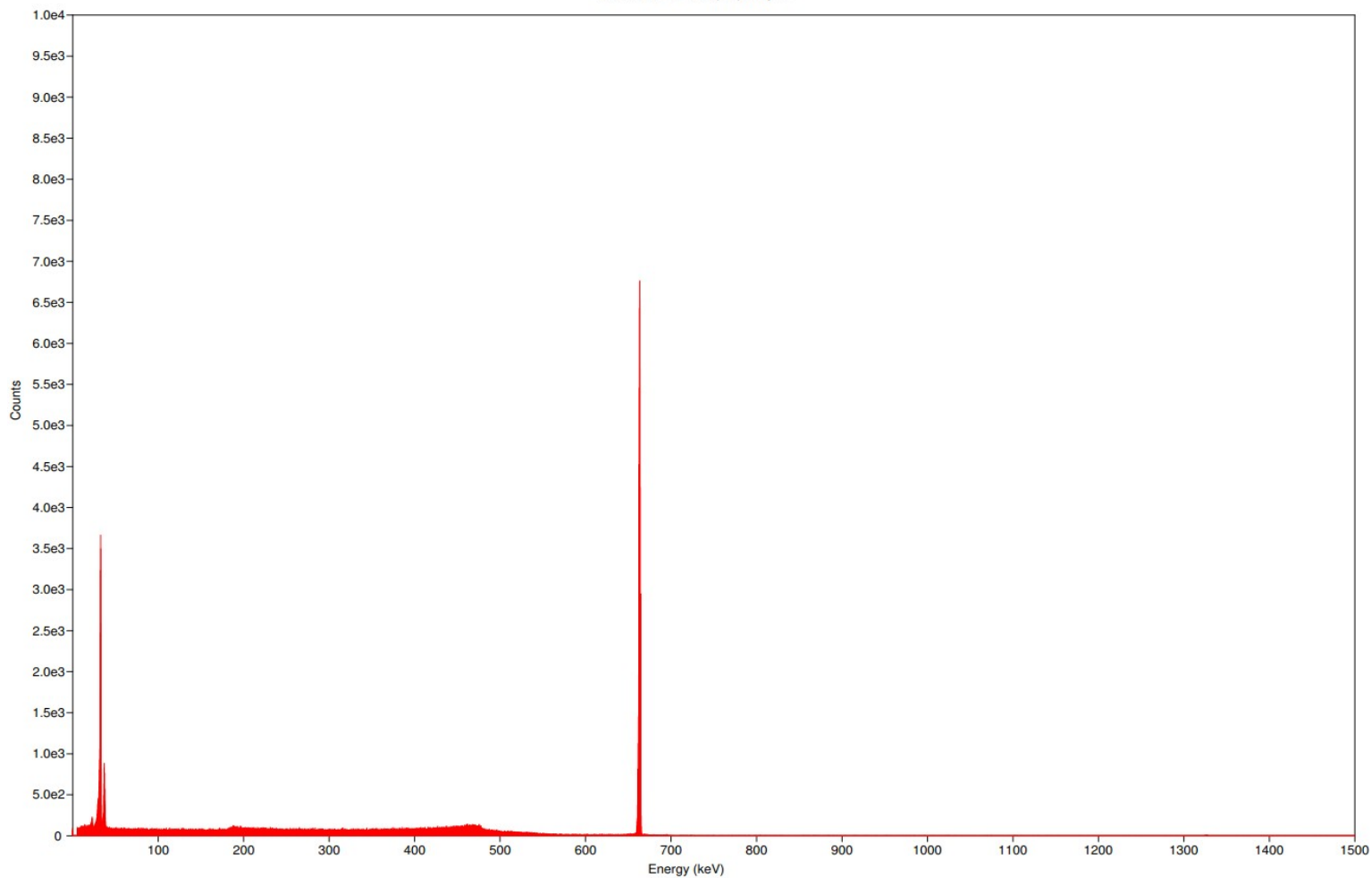


GEM 1. GEM\_Cs-137(04)0.Spc.



| Cod. 05     | Nuclide    | Cs-137 | Bq    | 166.520 | al     | 24/09/2019 |         |       |      |
|-------------|------------|--------|-------|---------|--------|------------|---------|-------|------|
| Data misura | rivelatore | sec"   | dead% | cps     | colpi  | +/-        | Bq      | +/-   | FWHM |
| 21/10/2019  | GMX        | 25,78  | 53,68 | 3.657   | 94.274 | 350        | 185.700 | 689   | 1,51 |
|             | GMX        | 15     | 53,56 | 3.629   | 54.440 | 266        | 184.300 | 901   | 1,51 |
|             | GMX        | 15     | 53,56 | 3.648   | 54.727 | 268        | 185.300 | 907   | 1,56 |
|             | GMX        | 15     | 53,68 | 3.664   | 54.958 | 266        | 186.100 | 901   | 1,55 |
|             | GMX        | 15     | 53,53 | 2.935   | 44.019 | 306        | 149.000 | 1.036 | 1,39 |
|             | GMX        | 15     | 53,62 | 2.937   | 44.596 | 307        | 151.000 | 1.039 | 1,42 |

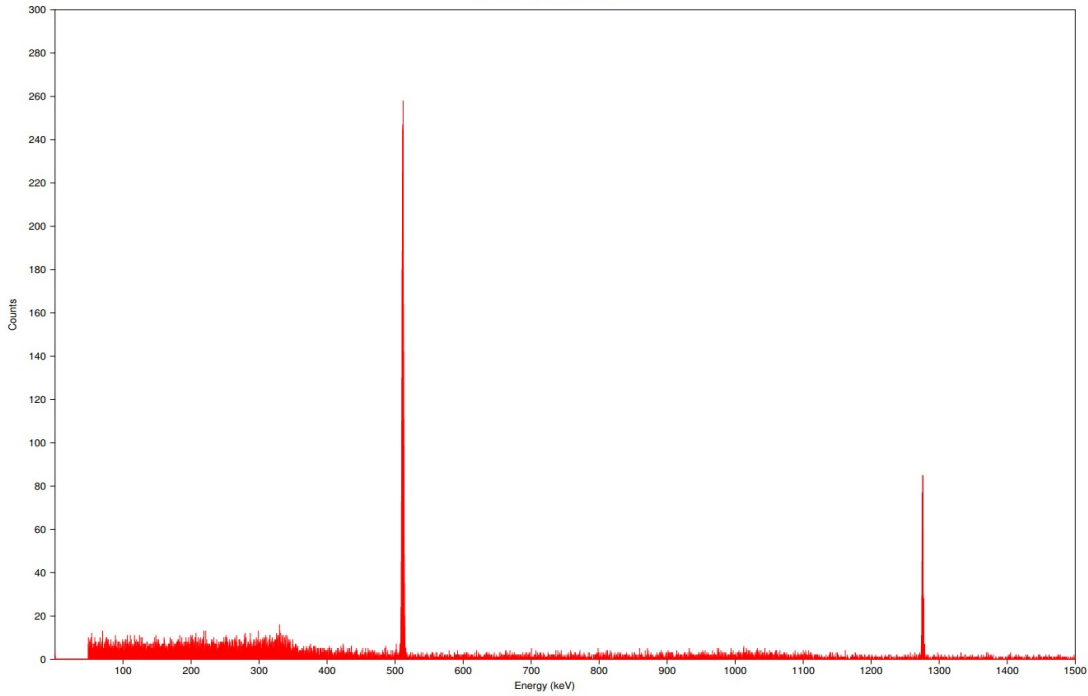
GMX 2. Cs-137(05)3.Spc.





| Cod. 08     | Nuclide    | Na-22 | Bq    | 2.649 | al    | 24/09/2019 |         |     |      |              |       |     |       |     |      |  |
|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|------------|---------|-----|------|--------------|-------|-----|-------|-----|------|--|
|             |            |       |       |       |       |            | 511 leV |     |      | 1274,537 keV |       |     |       |     |      |  |
| Data misura | rivelatore | sec"  | dead% | cps   | colpi | +/-        | Bq      | +/- | FWHM | cps          | colpi | +/- | Bq    | +/- | FWHM |  |
| 21/10/2019  | GEM        | 15    | 7,41  | 192   | 2.866 | 61         | 2.586   | 55  | 2,71 | 40           | 603   | 29  | 2.921 | 140 | 1,85 |  |
|             | GEM        | 15    | 7,41  | 198   | 2.975 | 59         | 2.684   | 53  | 2,72 | 40           | 581   | 26  | 2.882 | 129 | 1,68 |  |
|             | GEM        | 15    | 7,52  | 198   | 2.984 | 64         | 2.692   | 58  | 2,65 | 37           | 562   | 26  | 2.698 | 125 | 1,69 |  |
|             | GEM        | 15    | 7,52  | 193   | 2.654 | 60         | 3.561   | 81  | 2,55 | 42           | 626   | 27  | 3.032 | 131 | 1,97 |  |
|             | GEM        | 15    | 7,41  | 203   | 3.047 | 61         | 2.749   | 55  | 2,71 | 40           | 595   | 27  | 2.877 | 131 | 1,80 |  |
|             | GEM        | 15    | 7,29  | 193   | 2.902 | 60         | 2.618   | 54  | 2,67 | 39           | 598   | 24  | 2.834 | 114 | 1,93 |  |

GEM 1. GEM\_Na-22(08)3.Spc.



## Logbook misure effettuate 17-18 Ottobre2019

|                    |                   |                        |                           |                             |
|--------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Am-241-01b0.Spc    | Co-57_15-023.Spc  | Cs-137(05)2.Spc        | GEM_Am-241-038.Spc        | GEM_Na-22(08)0.An1          |
| Am-241-01b1Spc.Spc | Co-57_15-024.An1  | Cs-137(05)3.Spc        | GEM_Am-241-039.Spc        | GEM_Na-22(08)0.Spc          |
| Am-241-01b2Spc.Spc | Co-57_15-024.Spc  | Cs-137(05)4.Spc        | GEM_Ba-133-070.Spc        | GEM_Na-22(08)1.An1          |
| Am-241-010.Spc     | Co-57_15-025.An1  | Cs-137(05)5.Spc        | GEM_Ba-133-071.An1        | GEM_Na-22(08)1.Spc          |
| Am-241-011.Spc     | Co-57_15-025.Spc  | Cs-137-04.Spc          | GEM_Ba-133-071.Spc        | GEM_Na-22(08)2.An1          |
| Am-241-030.Spc     | Co-57_15-026.An1  | Cs-137-04b.Spc         | GEM_Ba-133-072.Spc        | GEM_Na-22(08)2.Spc          |
| Am-241-031.Spc     | Co-57_15-026.Spc  | Cs-137-04c.Spc         | GEM_Ba-133-073.An1        | GEM_Na-22(08)3.An1          |
| Ba-133-070.An1     | Co-57_15-027.An1  | FONDO21-10-2019.Spc    | GEM_Ba-133-073.Spc        | GEM_Na-22(08)3.Spc          |
| Ba-133-070.Spc     | Co-57_15-027.Spc  | FONDO21-10-2019-02.Spc | GEM_Co-57_11-Y-88_12.An1  | GEM_Na-22(08)4.An1          |
| Ba-133-071.Spc     | Co-57_15-028.Spc  | FONDO21-10-2019-03.Spc | GEM_Co-57_11-Y-88_12.Spc  | GEM_Na-22(08)4.Spc          |
| Ba-133-072.An1     | Co-57_15-029.Spc  | FONDO21-10-2019-04.Spc | GEM_Co-57_11-Y88_12-b.An1 | GEM_Na-22(08)5.An1          |
| Ba-133-072.Spc     | Co-57_15-0210.Spc | GEM_Am-241-03b1.Spc    | GEM_Co-57_11-Y88_12-b.Spc | GEM_Na-22(08)5.Spc          |
| Ba-133-073.Spc     | Co-57_090.An1     | GEM_Am-241-010.An1     | GEM_Co-57_14-01.An1       | GEM_Y88_120.An1             |
| Co-57_09.Spc       | Co-57_090.Spc     | GEM_Am-241-010.Spc     | GEM_Co-57_14-01.Spc       | GEM_Y88_120.Spc             |
| Co-57_9-10-13.Spc  | Co-57_091.An1     | GEM_Am-241-011.An1     | GEM_Co-57_14-020.An1      | GEM_Y88_120SPETTRO.An1      |
| Co-57_10.Spc       | Co-57_091.Spc     | GEM_Am-241-011.Spc     | GEM_Co-57_14-020.Spc      | GEM_Y88_120SPETTRO.Spc      |
| Co-57_10mix.An1    | Co-57_092.An1     | GEM_Am-241-012.Spc     | GEM_Co-57_14-021.An1      | GEM_Y88_1201.An1            |
| Co-57_10mix.Spc    | Co-57_092.Spc     | GEM_Am-241-013.Spc     | GEM_Co-57_14-021.Spc      | GEM_Y88_1201.Spc            |
| Co-57_13.Spc       | Co-60-02.An1      | GEM_Am-241-014.Spc     | GEM_Co-57_14-022.An1      | GEM1-FONDO160000-2763.An1   |
| Co-57_13b.An1      | Co-60-02.Spc      | GEM_Am-241-015.Spc     | GEM_Co-57_14-022.Spc      | GEM1-FONDO160000-2763.Spc   |
| Co-57_13b.Spc      | Co-60-020.Spc     | GEM_Am-241-030.Spc     | GEM_Co-57_14-023.Spc      | GEM1-FONDO174697-2763.Spc   |
| Co-57_15-01.An1    | Co-60-021.Spc     | GEM_Am-241-031.An1     | GEM_Co-60(02)0.An1        | GEM-FONDO21-10-2019.Spc     |
| Co-57_15-01.Spc    | Co-60-022.Spc     | GEM_Am-241-031.Spc     | GEM_Co-60(02)0.Spc        | GEM-FONDO22-10-2019.An1     |
| Co-57_15-020.An1   | Co-60-023.An1     | GEM_Am-241-032.An1     | GEM_Co-60(02)1.An1        | GEM-FONDO22-10-2019.Spc     |
| Co-57_15-020.Spc   | Co-60-023.Spc     | GEM_Am-241-032.Spc     | GEM_Co-60(02)1.Spc        | GMX2-FONDO160000-267212.Spc |
| Co-57_15-021.An1   | Co-60-024.Spc     | GEM_Am-241-033.Spc     | GEM_Co-60(02)2.An1        | GMX2-FONDO174846-2673.Spc   |
| Co-57_15-021.Spc   | Cs-137(04).Spc    | GEM_Am-241-034.Spc     | GEM_Co-60(02)2.Spc        | x-FONDO22-10-2019.An1       |
| Co-57_15-022.An1   | Cs-137(05).Spc    | GEM_Am-241-035.Spc     | GEM_Co-60(02)3.Spc        | x-FONDO22-10-2019.Spc       |
| Co-57_15-022.Spc   | Cs-137(05)0.Spc   | GEM_Am-241-036.Spc     | GEM_Cs-137(04)0.Spc       |                             |
| Co-57_15-023.An1   | Cs-137(05)1.Spc   | GEM_Am-241-037.Spc     | GEM_Na-22(08).Spc         |                             |

| Energy  | Percent  | Nuclide | Half Life       | Uncertainty | NFlags   | PFlags   |
|---------|----------|---------|-----------------|-------------|----------|----------|
| 26.34   | 2.4%     | Am-241  | 432.2 Yrs.      | 0.1000      | T-----   | G-----   |
| 30.63   | 35.1%    | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | -X-----  |
| 30.97   | 64.9%    | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | -X-----  |
| 32.19   | 3.6%     | Cs-137  | 30.07 Yrs.      | 0.1000      | TFI----- | -X-----  |
| 33.20   | 0.126%   | Am-241  | 432.2 Yrs.      | 0.1000      | T-----   | G-----   |
| 46.39   | 4.25%    | Pb-210  | 22.3 Yrs.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 53.16   | 2.14%    | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 59.54   | 35.78%   | Am-241  | 432.2 Yrs.      | 0.1000      | T-----   | G-----   |
| 63.29   | 4.8%     | Th-234  | 24.1 Days       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 79.61   | 2.65%    | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 81.00   | 32.9%    | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 92.38   | 2.8%     | Th-234  | 24.1 Days       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 92.80   | 2.8%     | Th-234  | 24.1 Days       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 122.06  | 85.1%    | Co-57   | 271.8 Days      | 0.1000      | ----PC-- | G-----   |
| 136.47  | 10.71%   | Co-57   | 271.8 Days      | 0.1000      | ----PC-- | G-----   |
| 163.33  | 5.08%    | U-235   | 7.038E+008 Yrs. | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 185.71  | 57.2%    | U-235   | 7.038E+008 Yrs. | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 186.21  | 3.533%   | Ra-226  | 1600 Yrs.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 238.63  | 43.6%    | Pb-212  | 10.64 Hrs.      | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 242.00  | 7.19%    | Pb-214  | 26.8 Min.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 276.40  | 7.164%   | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 295.22  | 18.28%   | Pb-214  | 26.8 Min.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 302.85  | 18.34%   | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 338.32  | 11.3%    | Ac-228  | 6.15 Hrs.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 351.93  | 35.34%   | Pb-214  | 26.8 Min.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 356.02  | 62.05%   | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 383.85  | 8.94%    | Ba-133  | 10.51 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 511.00  | 179.79%  | Na-22   | 2.602 Yrs.      | 0.1000      | -F---C-- | --P----- |
| 583.19  | 30.5%    | Tl-208  | 183.2 Sec.      | 0.1000      | -F-N---- | G-----   |
| 609.32  | 45.16%   | Bi-214  | 19.9 Min.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 661.66  | 84.99%   | Cs-137  | 30.07 Yrs.      | 0.1000      | TFI----- | G-----   |
| 898.04  | 93.9%    | Y-88    | 106.7 Days      | 0.1000      | -F--PC-- | G-----   |
| 911.21  | 26.6%    | Ac-228  | 6.15 Hrs.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 968.97  | 16.2%    | Ac-228  | 6.15 Hrs.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 1120.29 | 14.78%   | Bi-214  | 19.9 Min.       | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 1173.24 | 99.85%   | Co-60   | 5.271 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 1274.53 | 99.944%  | Na-22   | 2.602 Yrs.      | 0.1000      | -F---C-- | G-----   |
| 1332.49 | 99.9856% | Co-60   | 5.271 Yrs.      | 0.1000      | TF-----  | G-----   |
| 1460.82 | 10.67%   | K-40    | 1.277E+009 Yrs. | 0.1000      | ---N---- | G-----   |
| 1836.06 | 99.38%   | Y-88    | 106.7 Days      | 0.1000      | -F--PC-- | G-----   |

Nuclide Flags

Peak Flags

-----

|                                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| T = Thermal Neutron Activation  | G = Gamma Ray      |
| F = Fast Neutron Activation     | X = X-Ray          |
| I = Fission Product             | P = Positron Decay |
| N = Naturally Occurring Isotope | S = Single-Escape  |
| P = Photon Reaction             | D = Double-Escape  |
| C = Charged Particle Reaction   | K = Key Line       |
| M = No MDA Calculation          | A = Not In Average |
| A = Activity Not In Total       |                    |

## Conclusioni

Le misure, pur essendo qualitative e non quantitative, evidenziano risultati giudicati ottimi e che vanno valutati in un'ottica di risparmio anche alla luce dell'indagine economica della ditta che potrebbe occuparsi sia dello smaltimento che della caratterizzazione delle sorgenti.

Le attività delle sorgenti di taratura esaminate, ricavate dalle misure eseguite con spettrometria gamma e riportate nella tabella seguente, risultano sostanzialmente consistenti con i valori nominali attesi, considerate le incertezze del sistema di misura utilizzato.

| Radionuclide                                 | Codice INAF | Codice capsula  | Attività Nom. 18/10/19 (kBq) | Attività misurata al 18/10/19 (kBq) | SDV (kBq) | SDV % | Scarto (Nom-Mis)/Nom % | T 1/2 | Data riferimento produzione |          |
|----------------------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------|-------|------------------------|-------|-----------------------------|----------|
| Am-241                                       | 01          | 1Q487           | 3,84E+02                     | 2,22E+02                            | 1,0       | 0,4   | 42                     | (y)   | 432,7                       | 31/12/82 |
| Co-60                                        | 02          | -               | 1,59E+01                     | 1,45E+01                            | 0,3       | 2     | 9                      | (y)   | 5,3                         | 31/12/82 |
| Am-241                                       | 03          | 1q870           | 3,50E+02                     | 2,92E+02                            | 1,1       | 0     | 17                     | (y)   | 432,7                       | 01/05/84 |
| Cs-137                                       | 04          | VC92            | 1,57E+03                     | 2,14E+03                            | 36,1      | 2     | -37                    | (y)   | 30,2                        | 15/10/84 |
| Cs-137                                       | 05          | 2S108           | 1,66E+02                     | 1,51E+02                            | 1,0       | 1     | 9                      | (y)   | 30,2                        | 30/11/84 |
| Fe-55 (beta)                                 | 06          | 19311E          | 1,24E+02                     | /                                   |           |       |                        | (y)   | 2,7                         | 30/05/85 |
| Ba-133                                       | 07          | 12224           | 1,22E+02                     | 5,71E+01                            | 0,4       | 1     | 53                     | (y)   | 10,5                        | 11/05/90 |
| Na-22                                        | 08          | DA599           | 2,60E+00                     | 2,62E+00                            | 0,1       | 2     | -1                     | (y)   | 2,6                         | 01/07/92 |
| Co-57                                        | 09          | KK-831          | 1,70E-05                     | 2,60E-05                            | 0,0       | 27    | -53                    | (d)   | 271,8                       | 15/06/97 |
| Co-57                                        | 10          | S250LCCTC2      | 1,46E-04                     | 1,20E-04                            | 0,0       | 8     | 18                     | (d)   | 271,8                       | 07/01/99 |
| Co-57                                        | 11          | PP-300 PHI-057  | 1,59E-04                     | 2,10E-04                            | 0,0       | 5     | -32                    | (d)   | 271,8                       | 10/02/99 |
| Y-88                                         | 12          | HC479-YER1152   | 0,00E+00                     | <0,024e-3                           |           |       |                        | (d)   | 105,0                       | 20/03/00 |
| Co-57                                        | 13          | TT-679 PHI-057  | 1,29E-03                     | 1,45E-03                            | 0,0       | 3     | -13                    | (d)   | 271,8                       | 10/08/00 |
| Co-57 (*)                                    | 14          | TA3-670 PHI-057 | 5,47E-03                     | 8,61E-03                            |           |       | -57                    | (d)   | 271,8                       | 01/03/02 |
| Co-57 (*)                                    | 15          | B7-544          | 4,62E-02                     | 3,99E-02                            | 0,0       | 1     | 14                     | (d)   | 271,8                       | 15/06/04 |
| Cd-109 (*)                                   | 16          | B7-543          | 2,11E+01                     |                                     |           |       |                        | (y)   | 1,2                         | 15/06/04 |
| Cd-109 (*)                                   | 17          | XC89.06         | 3,63E+04                     |                                     |           |       |                        | (y)   | 1,2                         | 17/10/17 |
| Co-57 (*)                                    | 18          | GC07.15         | 1,59E+04                     |                                     |           |       |                        | (d)   | 271,8                       | 22/02/18 |
| (*) SORGENTI MUNITE DI CERTIFICATO D'ORIGINE |             |                 |                              |                                     |           |       |                        |       |                             |          |

Tab. 4 Esito delle misure isotopiche di attività delle sorgenti di taratura OAS

L'attività di calibrazione e test descritta in questo documento evidenzia la necessità di programmare tre conseguenti fasi di lavoro, **cessione a ditta autorizzata** dei radionuclidi esausti, eventuale **acquisto di nuove sorgenti** a sostituzione di quelle decadute e misure di assenza di contaminazione radioattiva (**smear-test**) sulle superfici esterne dei contenitori delle sorgenti ancora attive ed utilizzate ma "datate".

## Smaltimento

Ci si attiva per una ricerca di mercato e un servizio smaltimento sorgenti radioattive presso nostra sede.

E' necessario prevedere uno scarico in tempi brevi e notificare la variazione di pratica radiologica agli Enti Vigilanti 30 gg prima dello smaltimento delle sorgenti decadute.

Si è quindi verificato con gli utenti dei radionuclidi quali sorgenti sono ancora utilizzate e quali invece possono essere dismesse. I colleghi hanno deciso la selezione di Tab. 5.

Il servizio comprende a cura e carico della ditta:

- 1) Intervento operatore specializzato e classificato ai sensi del D.Lgs. 101/2020, munito di idonea protezione personale
- 2) Accesso di veicolo autorizzato al trasporto di materiale radioattivo
- 3) Fornitura di imballaggi omologati conformi alle disposizioni di legge vigenti per il trasporto di materie radioattive.
- 4) Confezionamento delle sorgenti negli imballaggi di cui sopra
- 5) Presa in carico delle sorgenti
- 6) Etichettatura e predisposizione della documentazione di trasporto
- 7) Prelievo dei colli e trasporto, in qualità di vettori autorizzati, presso nostro deposito autorizzato
- 8) Rilascio di certificazione di avvenuto ricevimento con manleva di ogni responsabilità civile e penale.

| Radionuclide | Codice | Capsula | Percent attività (kBq) | Data di produzione |
|--------------|--------|---------|------------------------|--------------------|
| Am-241       | 01     | 1Q487   | 382,87                 | 31/12/1982         |
| Am-241       | 03     | 1q870   | 348,81                 | 01/05/1984         |
| Ba-133       | 07     | 12224   | 111,24                 | 11/05/1990         |
| Co-109       | 16     | B7-543  | 9,90                   | 15/06/2004         |
| Co-109       | 17     | XC89.0  | 17006,64               | 17/10/2017         |
| Co-57        | 09     | KK-831  | 0,00                   | 15/06/1997         |
| Co-57        | 10     | S250LC  | 0,00                   | 07/01/1999         |
| Co-57        | 11     | PP-300  | 0,00                   | 10/02/1999         |
| Co-57        | 13     | TT-679  | 0,00                   | 10/08/2000         |
| Co-57        | 14     | TA3     | 0,00                   | 01/03/2002         |
| Co-57        | 15     | B7-544  | 0,01                   | 15/06/2004         |
| Co-57        | 18     | GC07.1  | 4490,57                | 22/02/2018         |
| Co-60        | 02     | -       | 13,27                  | 31/12/1982         |
| Cs-137       | 04     | VC92    | 1520,20                | 15/10/1984         |
| Cs-137       | 05     | 2S108   | 161,17                 | 30/11/1984         |
| Fe-55        | 06     | 19311E  | 87,74                  | 30/05/1985         |
| Na-22        | 08     | DA599   | 1,81                   | 01/07/1992         |
| Y-88         | 12     | HC479   | 0,00                   | 20/03/2000         |

Tab. 5 In giallo i radionuclidi da smaltire, in arancione quello ritenuto ancora utile.

| Radionuclide | Bq    | Cod-interno |
|--------------|-------|-------------|
| Co-60        | 16000 | 02          |
| Co-57        | 0,02  | 09          |
| Co-57        | 0,16  | 10          |
| Co-57        | 0,17  | 11          |
| Co-57        | 1,4   | 13          |
| Co-57        | 5,8   | 14          |
| Co-57        | 49,2  | 15          |
| Y-88         | 0,00  | 12          |

**Tab.6** Sorgenti sigillate da smaltire - Attività al 24-9-19

### Acquisto nuove sorgenti

In bibliografia risulta che per sorgenti di taratura gamma a bassa attività la RWL è dell'ordine di 20-30 anni (IAEA), mentre è più breve per le sorgenti alfa emittenti ( es. Am-241). La working life raccomandata è solitamente riportata sui certificati di taratura di ciascuna sorgente, che purtroppo noi non abbiamo per la gran parte delle nostre sorgenti.

| Codice interno | Radionuclide      | Data riferimento certificato | Età sorgente<br>Anni | Attività attuale |
|----------------|-------------------|------------------------------|----------------------|------------------|
|                |                   |                              |                      | kBq              |
| 1              | <sup>241</sup> Am | 31/12/82                     | <b>38</b>            | <b>383</b>       |
| 2              | <sup>60</sup> Co  | 31/12/82                     | <b>38</b>            | <b>14</b>        |
| 3              | <sup>241</sup> Am | 1/5/84                       | <b>37</b>            | <b>349</b>       |
| 4              | <sup>137</sup> Cs | 15/10/84                     | <b>37</b>            | <b>1527</b>      |
| 5              | <sup>137</sup> Cs | 30/11/84                     | <b>36</b>            | <b>162</b>       |
| 6              | <sup>55</sup> Fe  | 30/05/85                     | <b>36</b>            | <b>92</b>        |
| 7              | <sup>133</sup> Ba | 11/5/90                      | <b>31</b>            | <b>113</b>       |
| 8              | <sup>22</sup> Na  | 01/07/92                     | <b>29</b>            | <b>2</b>         |
| 16             | <sup>109</sup> Cd | 15/06/04                     | <b>17</b>            | <b>11</b>        |
| 17             | <sup>109</sup> Cd | 17/10/17                     | <b>3,5</b>           | <b>19102</b>     |
| 18             | <sup>57</sup> Co  | 22/02/18                     | <b>3,2</b>           | <b>5451</b>      |

**Tab.7** Restanti sorgenti sigillate di taratura detenute presso INAF-OAS - Attività al 4/5/21

Come mostrato in Tab. 7, la maggioranza delle sorgenti OAS ha un'età compresa tra i 29 ed i 38 anni. Atteso che le attività di calibrazione richiedano l'utilizzo di queste sorgenti e che non si possano dismettere nel breve termine per non interrompere le attività di ricerca, è opportuno programmare una loro sostituzione in tempi ragionevoli con nuove sorgenti di caratteristiche similari, a questo fine è necessario fare una ricerca di mercato, una valutazione del budget e conseguente reperimento fondi in accordo col DL.



## Smear test

L'età ragguardevole dei radionuclidi (e dei materiali che li incapsulano) non in smaltimento rende necessaria la programmazione di misure indirette della contaminazione radioattiva superficiale ed in aria al fine di stimare l'esposizione derivante dall'eventuale dispersione e successiva risospensione di materiale radioattivo per valutarne il contributo alla dose totale.

In OAS tutte le sorgenti di taratura detenute sono permanentemente inserite all'interno di un secondo contenitore in plexiglass, in grado di prevenire potenziali rischi di contaminazione superficiale durante il loro impiego, per maggiore sicurezza, occorre tuttavia prevedere l'esecuzione di misure della contaminazione superficiale rimovibile condotta con tecnica "smear test" o di strofinio su tutte le sorgenti di taratura.



## Miglioramento dell'archivio

A valle del lavoro rendicontato in questo Report si è deciso di prestare maggiore attenzione alla gestione della documentazione che accompagna i radionuclidi all'acquisto e che deve seguire mandatoriamente tutta la vita della sorgente. A questo fine si è deciso di riorganizzare l'archivio della Radioprotezione e di prevederne uno condiviso su Drive consultabile dal DL e dal personale preposto al servizio della sorveglianza fisica della radioprotezione.

INAF - Elenco completo delle sorgenti radioattive solide sigillate detenute

| Radionuclide | Bq         | kBq     | Cod-interno | DataRiferimento |
|--------------|------------|---------|-------------|-----------------|
| Am-241       | 383748     | 384     | 01          | 31/12/1982      |
| Co-60        | 16000      | 16      | 02          | 31/12/1982      |
| Am-241       | 349608     | 350     | 03          | 01/05/1984      |
| Cs-137       | 1570647    | 1571    | 04          | 15/10/1984      |
| Cs-137       | 166520     | 167     | 05          | 30/11/1984      |
| Fe-55        | 125771     | 126     | 06          | 30/05/1985      |
| Ba-133       | 122193     | 122     | 07          | 11/05/1990      |
| Na-22        | 2649       | 3       | 08          | 01/07/1992      |
| Co-57        | 0,02       | 0,00    | 09          | 15/06/1997      |
| Co-57        | 0,16       | 0,00    | 10          | 07/01/1999      |
| Co-57        | 0,17       | 0,00    | 11          | 10/02/1999      |
| Y-88         | 0,00       | 0,00    | 12          | 20/03/2000      |
| Co-57        | 1,4        | 0,00    | 13          | 10/08/2000      |
| Co-57 (*)    | 5,8        | 0,0     | 14          | 01/03/2002      |
| Co-57 (*)    | 49,2       | 0,0     | 15          | 15/06/2004      |
| Cd-109 (*)   | 21926,7    | 21,9    | 16          | 15/06/2004      |
| Cd-109 (*)   | 37660712,6 | 37660,7 | 17          | 17/10/2017      |
| Co-57 (*)    | 16908337,0 | 16908,3 | 18          | 22/02/2018      |

Attività al 24-9-19

**(\*) SORGENTI CON CERTIFICATI ORIGINE**

**Sorgenti solide sigillate da caratterizzare tramite  
spettrometria gamma**

| <b>Radionuclide</b> | <b>Bq</b>      | <b>kBq</b>  | <b>Cod-interno</b> |
|---------------------|----------------|-------------|--------------------|
| <b>Am-241</b>       | <b>383748</b>  | <b>384</b>  | <b>01</b>          |
| <b>Am-241</b>       | <b>349608</b>  | <b>350</b>  | <b>03</b>          |
| <b>Ba-133</b>       | <b>122193</b>  | <b>122</b>  | <b>07</b>          |
| <b>Cs-137</b>       | <b>1570647</b> | <b>1571</b> | <b>04</b>          |
| <b>Cs-137</b>       | <b>166520</b>  | <b>167</b>  | <b>05</b>          |
| <b>Fe-55</b>        | <b>125771</b>  | <b>126</b>  | <b>06</b>          |
| <b>Na-22</b>        | <b>2649</b>    | <b>2,6</b>  | <b>08</b>          |

Attività riferite al 24-9-19



**Sorgenti sigillate da smaltire**

| <b>Radionuclide</b> | <b>Bq</b>    | <b>Cod-interno</b> |
|---------------------|--------------|--------------------|
| <b>Co-60</b>        | <b>16000</b> | 02                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>0,02</b>  | 09                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>0,16</b>  | 10                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>0,17</b>  | 11                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>1,4</b>   | 13                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>5,8</b>   | 14                 |
| <b>Co-57</b>        | <b>49,2</b>  | 15                 |
| <b>Y-88</b>         | <b>0,00</b>  | 12                 |

Attività al 24-9-19