

**Titolo**

**CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DELLE PARTI RESIDUE  
DELL'IMPIANTO CO.NU MAGNOX – FASE 1 : ESITI DELLE MISURE  
DI CARATTERIZZAZIONE DELLA MATRICE ACQUA**

**Descrittori**

Tipologia del documento: **Rapporto Tecnico**  
 Collocazione contrattuale:  
 Argomenti trattati: **Misure di caratterizzazione radiologica di materiali da impianto**

**Sommario**


Presentazione degli esiti della caratterizzazione della matrice acqua prevista nella fase 1 del "Piano di caratterizzazione radiologica delle parti residue dell'impianto CO.NU Magnox in area ENEA".

**Note**

Copia n.


In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	19/11/2018	NOME	P. Battisti	C.M. Castellani	E. Fantuzzi
			FIRMA	<i>P. Battisti</i>	<i>C.M. Castellani</i>	<i>E. Fantuzzi</i>
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE	

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 2	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

## Indice

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DEL "BIANCO" .....</b>	<b>6</b>
2.1.	Risultati delle misure.....	6
2.2.	Analisi dei risultati.....	7
<b>3.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUA DELLA VASCA IN CEMENTO .....</b>	<b>8</b>
3.1.	Risultati delle misure.....	8
3.2.	Analisi dei risultati.....	10
<b>4.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUA DEL SERBATOIO – SETTO DESTRO .....</b>	<b>12</b>
4.1.	Risultati delle misure.....	12
4.2.	Analisi dei risultati.....	13
<b>5.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUA DEL SERBATOIO – SETTO SINISTRO .....</b>	<b>14</b>
5.1.	Risultati delle misure.....	14
5.2.	Analisi dei risultati.....	18
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>22</b>
<b>7.</b>	<b>RIFERIMENTI.....</b>	<b>23</b>
<b>8.</b>	<b>ALLEGATO: Referti misure.....</b>	<b>24</b>

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 3	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

## 1. INTRODUZIONE

Oggetto di questo documento è la presentazione e l'analisi degli esiti delle misure effettuate per la caratterizzazione della matrice acqua tuttora stazionante nelle componenti residue dell'impianto CO.NU Magnox in area ENEA del CR Trisaia, così come prevista nell'apposito Piano di Caratterizzazione Radiologica<sup>[1]</sup> (da qui in avanti denominato per concisione "Piano").

Le componenti interessate sono costituite da un serbatoio in acciaio, suddiviso in due setti separati, e dal vano in cemento utilizzato come vasca di contenimento dello stesso.

Si rimanda al Piano e al documento di presentazione degli esiti della pre-caratterizzazione<sup>[2]</sup> per tutto quanto concerne la trattazione dettagliata inerente:


- razionale e normativa di riferimento per la realizzazione della caratterizzazione
- criteri operativi adottati
- pianificazione e modalità di esecuzione del campionamento
- procedure impiegate per il trattamento e l'analisi dei campioni
- tecniche di misura utilizzate
- valutazione e validazione del numero di campioni idonei ai fini della caratterizzazione di ciascuno dei gruppi omogenei in esame.

Di seguito vengono sinteticamente ripresi gli elementi essenziali per una più agile lettura di questo documento.

In tale prospettiva è innanzitutto necessario sottolineare che, stante la peculiarità delle attività svolte presso l'Impianto MAGNOX, la finalità della caratterizzazione è stata orientata eminentemente alla valutazione della possibile contaminazione da Uranio in forma naturale. Essa è stata realizzata attraverso specifiche misurazioni in spettrometria di massa tipo ICP, tecnica di elezione per queste applicazioni, cui sono state associate misurazioni dell'attività alfa e beta totale e di spettrometria gamma volte sostanzialmente a confermare l'assenza di contaminazioni di un qualche significato radioprotezionistico dovute ad altre tipologie di radionuclidi, sia di origine naturale che artificiale.

Le misure di caratterizzazione sono state eseguite sui set di campioni di acqua prelevati da Nucleco presso l'ex impianto MAGNOX nelle date: 21 giugno 2018 e 20 luglio 2018. Tenuto conto delle condizioni oggettive riscontrate, diversamente da quanto inizialmente stabilito nel Piano, si è provveduto a collezionare N° 4 set di campioni di acqua (invece dei 3 previsti) così costituiti:

- set 1 – setto destro del serbatoio: N° 20 campioni dell'acqua presente nel setto destro del serbatoio di cui N° 10 prelevati a 35 cm di profondità dalla superficie libera dell'acqua (codici da S1 a S5 e da S-dx-1S a S-dx-5S) e N° 10 a 1 cm dal fondo del serbatoio (codici da S8 a S10, e da S-dx-1F a S-dx-7F );
- set 2 –setto sinistro del serbatoio: N° 20 campioni dell'acqua presente nel setto sinistro del serbatoio, di cui N° 10 prelevati a 35 cm di profondità dalla superficie libera dell'acqua (codici da S13 a S15 e da S-sx-1S a S-sx-7S) e N° 10 a 1 cm dal fondo del serbatoio (codici da S16 a S20 e da S-sx-1F a S-sx-5F);
- set 3- vasca in cemento: N° 20 campioni (codici da V1 a V20) dell'acqua presente nella vasca in cemento (superficie libera a circa 40 cm dal fondo) prelevati a circa 10 cm dal fondo lungo l'intero perimetro interno della vasca stessa;
- set 4 - bianco: N° 20 campioni di acqua di rete (codici da B1 a B20) prelevati direttamente da ENEA IRP in diversi edifici del CR Trisaia.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 4	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

Il prelievo del set 4 si è reso necessario al fine di costituire il gruppo omogeneo di confronto, “campione di bianco“, espressamente richiesto dalla procedura di validazione proposta nel Piano anche per verificare la rappresentatività statistica dei suddetti set di campioni in relazione ai rispettivi gruppi omogenei (acqua nel setto destro del serbatoio, acqua nel setto sinistro del serbatoio e acqua nella vasca in cemento).

I risultati della pre-caratterizzazione sulla matrice acqua hanno permesso di confermare che la numerosità dei campioni prelevati e disponibili è idonea statisticamente ai fini della caratterizzazione complessiva finale e la verifica di rilasciabilità.

Come previsto dal Piano, le attività analitiche sono state progettate per valutare il contenuto radioattivo in generale e di uranio naturale in particolare, sia come contenuto totale nel campione di acqua, sia separando i contributi dovuti rispettivamente alla componente disciolta ed a quella sospesa.

Su tali premesse la strategia di analisi si è così articolata:

- previa pesatura della massa campionata,  $m_{camp}$ , determinazione via ICP-MS della concentrazione di attività totale,  $C_{A,TOT}$ , di uranio (U-238 e U-235) nel campione di acqua, sottoponendone a misura un'idonea aliquota in forma tal quale;
- filtrazione del campione per la separazione della componente disciolta (CD) raccolta nell'acqua filtrata e della componente sospesa (CS) trattenuta su filtro;
- determinazione, attraverso misurazioni effettuate direttamente su opportune aliquote di acqua filtrata, della concentrazione di attività nel campione dovuta alla componente disciolta,  $C_{A,CD}$ , di uranio (U-238 e U-235), della concentrazione delle attività alfa totale e beta totale e della concentrazione dei radionuclidi gamma emettitori eventualmente rivelati con la spettrometria gamma;
- determinazione, attraverso pesatura del filtro prima e dopo filtrazione, della massa della componente sospesa,  $m_{CS}$ , da cui:

- ove questa risultasse misurabile e fosse al contempo estraibile dal filtro un'idonea quantità di materiale in esso raccolto (MF), misurazione diretta della concentrazione di attività in tale materiale,  $C_{A,MF}$ , assunto rappresentativo di tutta la CS, di uranio (U-238 e U-235), dell'emissione alfa totale e beta totale nonché dei radionuclidi gamma emettitori, con conseguente valutazione delle loro concentrazioni di attività nel campione dovute alla componente sospesa,  $C_{A,CS}$ , attraverso la relazione:

$$C_{A,CS} = m_{CS} \times C_{A,MF} / m_{camp}$$

- ove questa risultasse non misurabile e/o il materiale MF non fosse estraibile:
  - per quanto attiene emissione alfa totale e beta totale e radionuclidi gamma emettitori, determinazione di  $C_{A,CS}$  nel campione attraverso misura diretta dell'attività ( $A_{FF}$  in Bq), del filtrato su filtro (FF), assumendo


$$C_{A,CS} \cong C_{A,FF} = A_{FF} / m_{camp};$$

- per quanto attiene l'uranio, determinazione indiretta di  $C_{A,CS}$  nel campione attraverso il confronto fra i corrispondenti valori di  $C_{A,TOT}$  e  $C_{A,CD}$ , di cui ai punti precedenti.

Si precisa peraltro che :

- per U-238 e U-235 il dato di concentrazione in attività è ricavato per conversione diretta della concentrazione in massa,  $C_M$ , ottenuta con la misura ICP-MS, attraverso il dato di attività specifica  $A_{sp}$ , stante la relazione:

$$C_A = C_M \times A_{sp}$$

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 5	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

- i valori riportati di concentrazione in attività di uranio naturale sono ottenuti dai valori misurati di U-238 e U-235 nell'ipotesi di sua composizione standard (attività di U-234 = 1,007 x attività U-238).

Per il completamento della caratterizzazione sono state necessarie 423 misurazioni, tutte eseguite dal *Laboratorio Integrato Monitoraggio e Misure di Radioattività* dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA e così ripartite:

- 143 determinazioni della concentrazione di uranio via ICP-MS
- 140 determinazioni dell'attività alfa totale e beta totale
- 140 spettrometrie gamma.

Tutti gli esiti di tali misurazioni sono riportati, per ciascuno degli 80 campioni sottoposti ad analisi, in specifici referti consultabili in copia nell' Allegato<sup>[3]</sup> al presente documento.

Per concludere si sottolinea che la presentazione che segue è strutturata sulla base del medesimo schema utilizzato per il documento di precaratterizzazione<sup>[2]</sup> di cui in diversi casi riproduce letteralmente i passaggi, ovviamente fatto salvo per le correzioni, se richieste, dovute alla diversa popolazione di dati sperimentali qui esaminati.

## 2. CARATTERIZZAZIONE DEL “BIANCO”

Si ricorda che per il “bianco” sono stati selezionati campioni di acqua del tutto simili a quelli in esame e per i quali è certa l’assenza di contaminazione aggiuntiva derivante da attività antropiche.

Per il “bianco” la caratterizzazione era stata completata già in fase di precaratterizzazione dei rimanenti gruppi omogenei. Per facilità di lettura viene qui riproposto quanto riportato in IRP-000-011<sup>[2]</sup>, ricordando che tali campioni, per i quali è stata sperimentalmente verificata una presenza trascurabile della componente sospesa (CS), sia in termini di massa che radiologici, sono stati analizzati in forma tal quale assumendo l’intera concentrazione di attività,  $C_{A,TOT}$ , dovuta alla componente disciolta,  $C_{A,CD}$ :  $C_{A,TOT} \cong C_{A,CD}$ .

### 2.1. Risultati delle misure

I campioni sono stati caratterizzati attraverso le seguenti tipologie di misura:


- determinazione mediante spettrometria di massa di tipo ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U235) senza pretrattamento chimico-fisico;
- determinazione dell’attività alfa e beta totale sul campione d’acqua tal quale.
- spettrometria gamma sul campione d’acqua tal quale

Gli esiti delle misure per la determinazione della concentrazione di Uranio e dell’attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) effettuate sui 20 campioni di acqua, in forma “tal quale”, sono riportati in Tabella 1, nell’ipotesi  $C_{A,TOT} \cong C_{A,CD}$ .

**Tabella 1. Acqua di rete CR Trisaia (campioni di bianco): esiti delle determinazioni della concentrazione totale,  $C_{A,TOT}$ , con  $C_{A,TOT} \cong C_{A,CD}$ , di uranio e dell’attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) effettuate sui campioni di acqua (in forma tal quale)**

Camp.	<sup>238</sup> U		<sup>235</sup> U		<sup>235</sup> U/ <sup>238</sup> U (in massa)	U <sub>nat</sub>		Att. alfa tot.		Att. beta tot.	
	C <sub>A,TOT</sub> (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	C <sub>A,TOT</sub> (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)		C <sub>A,TOT</sub> (Bq/kg <sub>campi</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	C <sub>A,TOT</sub> (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	C <sub>A,TOT</sub> (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)
B1	8,82E-03	4,1%	4,00E-04	9,3%	7,05E-03	1,80E-02	4,2%	3,51E-02	17%	4,60E-01	10%
B2	8,52E-03	4,0%	3,92E-04	6,2%	7,15E-03	1,74E-02	4,0%	4,38E-02	14%	4,25E-01	11%
B3	7,51E-03	4,2%	3,52E-04	4,2%	7,28E-03	1,54E-02	4,2%	4,47E-02	16%	4,34E-01	11%
B4	8,07E-03	4,1%	3,76E-04	4,4%	7,24E-03	1,65E-02	4,1%	3,54E-02	18%	4,73E-01	10%
B5	7,86E-03	4,0%	3,68E-04	5,0%	7,28E-03	1,61E-02	4,0%	4,21E-02	17%	4,51E-01	11%
B6	7,97E-03	4,0%	3,76E-04	12%	7,33E-03	1,63E-02	4,2%	4,59E-02	15%	4,70E-01	10%
B7	7,77E-03	4,0%	3,60E-04	11%	7,20E-03	1,59E-02	4,2%	5,20E-02	13%	4,12E-01	12%
B8	7,46E-03	4,1%	3,52E-04	12%	7,33E-03	1,53E-02	4,3%	3,36E-02	18%	4,72E-01	10%
B9	7,81E-03	4,2%	3,60E-04	5,5%	7,17E-03	1,60E-02	4,2%	5,81E-02	12%	4,59E-01	10%
B10	8,61E-03	4,1%	4,00E-04	6,9%	7,23E-03	1,76E-02	4,2%	3,67E-02	19%	4,63E-01	10%
B11	8,53E-03	4,0%	3,92E-04	4,7%	7,14E-03	1,75E-02	4,0%	5,68E-02	13%	4,64E-01	10%
B12	8,47E-03	4,2%	4,01E-04	6,4%	7,34E-03	1,73E-02	4,3%	4,88E-02	16%	4,83E-01	12%
B13	8,37E-03	4,1%	3,84E-04	10%	7,13E-03	1,71E-02	4,2%	3,86E-02	18%	5,02E-01	10%
B14	8,74E-03	4,0%	3,98E-04	6,0%	7,11E-03	1,79E-02	4,0%	4,47E-02	16%	4,37E-01	11%
B15	8,56E-03	4,1%	3,84E-04	4,2%	6,98E-03	1,75E-02	4,1%	4,87E-02	15%	4,70E-01	13%
B16	8,17E-03	4,0%	3,52E-04	9,8%	6,70E-03	1,67E-02	4,1%	3,46E-02	20%	4,81E-01	10%
B17	8,41E-03	4,1%	4,08E-04	11%	7,54E-03	1,72E-02	4,3%	5,41E-02	13%	4,46E-01	11%
B18	8,58E-03	4,2%	3,84E-04	9,4%	6,96E-03	1,75E-02	4,3%	5,40E-02	13%	4,35E-01	10%
B19	9,60E-03	4,0%	4,64E-04	7,2%	7,51E-03	1,97E-02	4,1%	3,97E-02	18%	5,89E-01	10%
B20	7,84E-03	4,0%	3,52E-04	4,2%	6,98E-03	1,60E-02	4,0%	4,27E-02	16%	4,51E-01	11%
m <sub>a</sub> <sup>(*)</sup>	8,28E-03	----	3,83E-04	----	7,18E-03	1,69E-02	----	4,45E-02	----	4,64E-01	----
DSC <sup>(*)</sup>	5,1E-04	----	2,7E-05	----	1,9E-04	1,1E-03	----	7,7E-03	----	3,8E-02	----
DSG <sup>(*)</sup>	1,06	----	1,07	----	----	1,06	----	1,19	----	1,08	----

(\*) m<sub>a</sub> = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - DSG = Deviazione Standard Geometrica – S = incertezza percentuale della misura con fattore di copertura k=1.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 7	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

Le misure di *spettrometria gamma* su tutti i 20 campioni, da B1 a B20, hanno fornito risultati inferiori ai valori specifici della minima attività rivelabile, MDA (vedi valori di riferimento nel prospetto sottostante).

Campione ("tal quale")	Radionuclide	$C_{A,TOT}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	MDA Acqua in beker di Marinelli (Bq/kg <sub>camp</sub> )
Tutti da B1 a B20	Cs-137	< MDA	0,23
	U-235	< MDA	0,48
	U-238 (via Th-234)	< MDA	9,5
	Th-232 (via Ac-228)	< MDA	0,50

Tutti i risultati delle misure sono visionabili nell'Allegato referti da pag.1/203 a pag. 20/203.

## 2.2. Analisi dei risultati

Si sottolinea innanzitutto che l'insieme dei dati testimonia di uno stato radiologico assolutamente nella norma per un'acqua potabile di rete.

L'uranio, presente in concentrazione media pari a 1,69 mBq/kg<sub>camp</sub>, con valore minimo e massimo rispettivamente pari a 1,54 mBq/kg<sub>camp</sub> e 1,97 mBq/kg<sub>camp</sub> corrispondenti ad una concentrazione in massa compresa fra circa 600 e 800 ng/kg<sub>camp</sub> che determina in media poco meno del 40% dell'attività alfa totale, mentre il rapporto alfa totale/beta totale si attesta mediamente a quasi il 10%.

Dai livelli piuttosto ridotti dell'attività sia alfa totale che beta totale, si può ragionevolmente desumere un contributo modesto alla radioattività complessiva da parte dei radionuclidi della catena dell'U-238 successivi al U-234 (in particolare Ra-226, Pb-210 e Po-210), così come da quelli della catena del Th-232

I valori di attività beta totale comprovano altresì una ridotta presenza di K-40, a conferma degli esiti ottenuti con la spettrometria gamma.

### 3. CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUA DELLA VASCA IN CEMENTO

Confermando quanto constatato in fase di precaratterizzazione, per i 20 campioni di liquido prelevati nella vasca in cemento di contenimento del serbatoio:

- non è mai stata rilevata la presenza di materiale depositato (sedimento),
- la filtrazione non ha in alcun caso portato al recupero di un quantitativo di materiale utile per una misurazione diretta della componente sospesa (CS).

#### 3.1. Risultati delle misure

I campioni sono stati caratterizzati attraverso le seguenti tipologie di misura:

- determinazione mediante spettrometria di massa di tipo ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U235) senza pretrattamento chimico-fisico;
- determinazione dell'attività alfa totale e beta totale sul campione di acqua filtrato e sul "filtrato su filtro"
- spettrometria gamma, effettuata sul campione di acqua filtrato e sul "filtrato su filtro".

In Tabella 2 sono presentati gli esiti delle misure di caratterizzazione per la determinazione della concentrazione di Uranio e dell'attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) effettuate sulla componente disciolta (CD) dei 20 campioni di acqua (acqua filtrata) prelevati nella vasca in cemento.

**Tabella 2. Acqua nella vasca in cemento di contenimento del serbatoio - componente disciolta (CD): esiti delle determinazioni della concentrazione,  $C_{A,CD}$ , di uranio e dell'attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) effettuate sui campioni di acqua filtrata**

Camp.	<sup>238</sup> U		<sup>235</sup> U		<sup>235</sup> U/ <sup>238</sup> U (in massa)	U <sub>nat</sub>		Att. alfa tot.		Att. beta tot.	
	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)		$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)
V1	8,69E-03	4,2%	4,16E-04	6,4%	7,42E-03	1,78E-02	4,3%	6,49E-02	10%	2,19E+00	4,7%
V2	7,97E-03	4,0%	3,74E-04	8,5%	7,28E-03	1,63E-02	4,0%	7,46E-02	9,4%	2,02E+00	4,7%
V3	8,82E-03	4,2%	4,08E-04	6,7%	7,17E-03	1,80E-02	4,3%	6,58E-02	10%	1,96E+00	4,7%
V4	7,91E-03	4,0%	3,76E-04	5,3%	7,37E-03	1,62E-02	4,0%	7,51E-02	9,4%	1,92E+00	4,8%
V5	8,20E-03	4,2%	3,74E-04	7,5%	7,07E-03	1,68E-02	4,0%	6,58E-02	10%	1,88E+00	4,8%
V6	8,60E-03	4,1%	3,94E-04	7,7%	7,11E-03	1,76E-02	4,1%	8,34E-02	9,2%	2,30E+00	4,6%
V7	8,35E-03	4,1%	3,92E-04	8,4%	7,28E-03	1,71E-02	4,2%	7,30E-02	9,5%	2,14E+00	4,7%
V8	7,90E-03	4,2%	3,78E-04	6,9%	7,46E-03	1,62E-02	4,1%	5,83E-02	12%	2,12E+00	4,7%
V9	8,51E-03	4,2%	3,84E-04	7,2%	7,00E-03	1,74E-02	4,3%	9,76E-02	8,8%	2,21E+00	4,7%
V10	8,33E-03	4,2%	3,92E-04	5,0%	7,30E-03	1,74E-02	4,2%	6,97E-02	9,8%	1,95E+00	4,8%
V11	8,42E-03	4,0%	4,03E-04	11%	7,37E-03	1,74E-02	4,0%	5,70E-02	12%	1,79E+00	4,9%
V12	8,50E-03	4,3%	3,84E-04	6,2%	7,01E-03	1,74E-02	4,2%	6,03E-02	11%	2,17E+00	4,6%
V13	8,46E-03	4,2%	3,76E-04	7,1%	6,89E-03	1,73E-02	4,3%	7,81E-02	9,4%	2,03E+00	4,7%
V14	8,16E-03	4,1%	3,77E-04	6,0%	7,17E-03	1,67E-02	4,1%	6,65E-02	11%	1,90E+00	4,8%
V15	8,41E-03	4,1%	3,93E-04	7,4%	7,25E-03	1,72E-02	4,1%	9,15E-02	9,0%	2,18E+00	4,6%
V16	8,55E-03	4,2%	4,10E-04	5,6%	7,40E-03	1,75E-02	4,2%	7,90E-02	9,4%	2,01E+00	4,7%
V17	8,38E-03	4,3%	3,82E-04	10%	7,07E-03	1,71E-02	4,3%	9,04E-02	9,0%	2,06E+00	4,7%
V18	8,39E-03	4,1%	4,00E-04	6,7%	7,39E-03	1,72E-02	4,2%	6,47E-02	9,8%	2,11E+00	4,6%
V19	8,60E-03	4,1%	3,93E-04	8,7%	7,09E-03	1,76E-02	4,1%	7,56E-02	9,3%	2,14E+00	4,6%
V20	8,57E-03	4,3%	3,97E-04	8,9%	7,24E-03	1,75E-02	4,0%	9,31E-02	8,9%	1,93E+00	4,8%
$m_a^{(*)}$	8,39E-03	----	3,90E-04	----	7,22E-03	1,72E-02	----	7,42E-02	----	2,05E+00	----
DSC <sup>(*)</sup>	2,5E-04	----	1,3E-05	----	1,7E-04	5,1E-04	----	1,16E-02	----	1,3E-01	----
DSG <sup>(*)</sup>	1,03	----	1,03	----	1,02	1,03	----	1,17	----	1,07	----

(\*)  $m_a$  = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - DSG = Deviazione Standard Geometrica - S = incertezza percentuale della misura con fattore di copertura k=1.



Le misure di spettrometria gamma effettuate sugli stessi 20 campioni di acqua filtrata hanno sempre fornito risultati inferiori ai valori specifici della minima attività rivelabile, MDA (vedi valori di riferimento nel prospetto sottostante).

Campione (acqua filtrata)	Radionuclide	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	MDA (Bq/kg <sub>camp</sub> )
Tutti da V1 a V20	Cs-137	< MDA	0,23
	U-235	< MDA	0,48
	U-238 (via Th-234)	< MDA	9,5
	Th-232 (via Ac-228)	< MDA	0,50

Passando alla componente sospesa, CS, assunta l'impossibilità di effettuarne una determinazione diretta in assenza di materiale isolabile dal filtro, si è proceduto, come da procedura, con le misure del filtrato su filtro, FF.

In questo caso non solo la spettrometria gamma, effettuate in geometria "filtro", ma anche la determinazione dell'attività alfa totale e beta totale hanno fornito per tutti i campioni risultati sempre inferiori ai valori specifici della minima attività rivelabile, MDA (vedi valori di riferimento nel prospetto sottostante).

Campione (filtrato su filtro)	Radionuclide	$C_{A,FF}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	MDA (Bq/kg <sub>camp</sub> )
Tutti campioni da V1 a V20	Cs-137	< MDA	0,12
	U-235	< MDA	0,37
	U-238 (via Th-234)	< MDA	6,2
	Th-232 (via Ac-228)	< MDA	0,32
	attività alfa totale	< MDA	6,3E-02
	attività beta totale	< MDA	1,0E-01

Per quanto invece attiene l'uranio, trattandosi per il filtrato su filtro di campioni solidi, ricordando che:

- sussiste la necessità di pretrattare il campione attraverso una procedura di dissoluzione totale
- nelle condizioni date tale dissoluzione include necessariamente il supporto (filtro)
- il filtro di fatto viene a costituire non meno del 95% della massa in soluzione
- in considerazione delle masse in gioco l'apporto di uranio determinato sia dal filtro in quanto tale che dai reagenti utilizzati è risultato tale da coprire l'apporto del filtrato stesso

si deve sottolineare che il tentativo, più volte ripetuto, di determinazione via ICP-MS non ha mai fornito esiti attendibili.

Per tale ragione la concentrazione di Uranio nella componente sospesa si è potuta ricavare solo dal confronto della concentrazione di attività nella componente disciolta,  $C_{A,CD}$ , misurata sull'acqua filtrata, con quella di attività totale,  $C_{A,TOT}$ , misurata nel campione in forma tal quale.

Gli esiti di tale confronto sono riportati in termini relativi in Tabella 3 (colonne CD/TOT e CS/TOT) insieme ai valori misurati di  $C_{A,TOT}$ . Si ricorda a tale proposito che il dato di CS/TOT è ottenuto come complemento a 100% di CS/TOT.

**Tabella 3. Acqua nella vasca in cemento di contenimento del serbatoio: determinazioni della concentrazione totale,  $C_{A,TOT}$ , di uranio misurata nei campioni di acqua in forma tal quale e corrispondenti valori del contributo percentuale delle componenti disciolta (CD) e sospesa (CS)**

Camp.	$^{238}\text{U}$		$^{235}\text{U}$		$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ (in massa)	$\text{U}_{\text{nat}}$		$\text{U}_{\text{nat}}$ CD/TOT (%)	$\text{U}_{\text{nat}}^{(*)}$ CS/TOT (%)
	$C_{A,TOT}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	$S^{(1)}$ (%)	$C_{A,TOT}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	$S^{(1)}$ (%)		$C_{A,TOT}$ (Bq/kg <sub>cam</sub> )	$S^{(1)}$ (%)		
V1	8,96E-03	4,2%	4,34E-04	6,4%	7,52E-03	1,84E-02	4,2%	96,9	3,1
V2	8,83E-03	4,3%	4,13E-04	7,1%	7,25E-03	1,81E-02	4,3%	90,3	9,7
V3	9,37E-03	4,0%	4,32E-04	8,7%	7,16E-03	1,92E-02	4,0%	93,9	6,1
V4	8,54E-03	4,3%	4,01E-04	6,3%	7,28E-03	1,75E-02	4,3%	92,6	7,4
V5	8,88E-03	4,2%	4,20E-04	8,5%	7,34E-03	1,82E-02	4,2%	92,3	7,7
V6	9,48E-03	4,3%	4,56E-04	7,0%	7,46E-03	1,94E-02	4,3%	90,6	9,4
V7	8,70E-03	4,1%	4,10E-04	8,4%	7,30E-03	1,78E-02	4,1%	96,0	4,0
V8	8,19E-03	4,2%	3,89E-04	10%	7,37E-03	1,68E-02	4,2%	96,5	3,5
V9	9,11E-03	4,1%	4,12E-04	7,2%	7,01E-03	1,86E-02	4,1%	93,4	6,6
V10	8,79E-03	4,4%	4,09E-04	8,0%	7,22E-03	1,80E-02	4,4%	94,8	5,2
V11	8,83E-03	4,0%	4,17E-04	7,9%	7,32E-03	1,81E-02	4,0%	95,4	4,6
V12	9,03E-03	4,2%	4,06E-04	9,2%	6,97E-03	1,85E-02	4,2%	94,3	5,7
V13	9,19E-03	4,0%	4,17E-04	7,1%	7,04E-03	1,88E-02	4,0%	92,0	8,0
V14	8,52E-03	4,0%	3,99E-04	10%	7,26E-03	1,74E-02	4,0%	95,7	4,3
V15	8,95E-03	4,1%	4,21E-04	6,5%	7,30E-03	1,83E-02	4,1%	94,0	6,0
V16	9,07E-03	4,2%	4,19E-04	9,6%	7,16E-03	1,86E-02	4,2%	94,3	5,7
V17	8,99E-03	4,3%	4,14E-04	8,2%	7,14E-03	1,84E-02	4,3%	93,2	6,8
V18	8,79E-03	4,3%	4,23E-04	8,7%	7,45E-03	1,80E-02	4,3%	97,7	2,3
V19	9,10E-03	4,2%	4,15E-04	7,2%	7,07E-03	1,86E-02	4,2%	94,5	5,5
V20	9,06E-03	4,1%	4,18E-04	7,8%	7,18E-03	1,85E-02	4,1%	94,6	5,4
$m_a^{(*)}$	8,92E-03	----	4,16E-04	----	7,24E-03	1,83E-02	----	94,2	5,8
DSC <sup>(*)</sup>	3,0E-04	----	1,4E-05	----	1,5E-04	6,2E-04	----	2,0	2,0
DSG <sup>(*)</sup>	1,03	----	1,03	----	1,02	1,03	----	----	----

(\*)  $m_a$  = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - DSG = Deviazione Standard Geometrica – S = incertezza della misura con fattore di copertura  $k=1$ .


(\*\*) Dato ottenuto come complemento a 100% del rapporto CD/TOT

Tutti i risultati delle misure sono visionabili nell'Allegato referti da pag. 21/203 a pag. 80/203.

### 3.2. Analisi dei risultati

Come desumibile dai valori del rapporto in massa U-235/U-238 sia di Tabella 2 che di Tabella 3 si conferma, innanzitutto che, al netto delle incertezze, l'uranio è presente nell'acqua della vasca sempre in composizione isotopica "naturale" (valore di riferimento pari a 7,2E-03).

Comparando la concentrazione di attività disciolta nei campioni di acqua della vasca (Tabella 2) con i valori di concentrazione di attività nei campioni di "bianco" (Tabella1), per quanto riguarda la concentrazione di uranio nella componente disciolta si rileva una sostanziale coincidenza con i corrispondenti valori osservati nel bianco, pur con una più

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 11	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------	----------

ridotta dispersione dei dati, ove sia l'attività alfa totale, a cui l' $U_{nat}$  contribuisce mediamente per il 23%, e soprattutto quella beta totale, risultano invece significativamente maggiori.

Se per l'attività beta totale il dato può essere in buona parte giustificato con la presenza di K-40 a livelli più elevati, per l'attività alfa totale si tratta evidentemente di un contributo più significativo da parte degli altri alfa emettitori naturali (sia della catena dell'U-238 post U-234, che del Th-232). Tali risultanze possono essere verosimilmente imputate alla diversa origine dell'acqua e/o alla non escludibile "alterazione" delle sue condizioni radiologiche originarie occorsa stazionando nella vasca per cause quali rilascio del cemento, deposizione di pulviscolo atmosferico o infiltrazioni di acqua meteorica percolata attraverso il terreno.

L'analisi di Tabella 3 fa emergere con chiarezza il peso estremamente ridotto della componente sospesa (CS) nel computo della radioattività complessiva e nello specifico del contenuto di uranio. Nel set di campioni presi in esame il contributo di CS, da ritenersi comunque effettivo in quanto sostenuto dal test del segno e comprovato dal test di Student (significatività > 95%), varia infatti da un minimo del 2,3% a un massimo del 9,7% con valor medio del 5,8% e intervallo di confidenza al 95% [1,9% - 9,7%].

Dal confronto col bianco emerge che l'acqua della vasca ha un contenuto totale di  $U_{nat}$  leggermente più elevato, La differenza, pur statisticamente significativa, corrisponde comunque ad un incremento di concentrazione di attività di ridottissima entità (pari in media a 1,4 mBq/kg<sub>camp</sub>) la cui origine, come già ipotizzato in fase di precaratterizzazione, può essere assai verosimilmente individuata nelle stesse cause prima addotte per l'attività alfa totale e beta totale nella componente disciolta, ma anche ad un effetto spurio, allo stato non individuabile.

## 4. CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUA DEL SERBATOIO – SETTO DESTRO

Confermando quanto constatato in fase di precaratterizzazione ed analogamente all'acqua della vasca, anche per i 20 campioni di liquido prelevati nel setto destro del serbatoio:

- non è mai stata rilevata la presenza di materiale depositato (sedimento),
- la filtrazione non ha in alcun caso portato al recupero di un quantitativo di materiale utile per una misurazione diretta della componente sospesa (CS).

### 4.1. Risultati delle misure

I campioni sono stati caratterizzati attraverso le seguenti tipologie di misura:

- determinazione mediante spettrometria di massa di tipo ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U-235) senza pretrattamento chimico-fisico;
- determinazione dell'attività alfa totale e beta totale sul campione di acqua filtrato e sul "filtrato su filtro".
- spettrometria gamma, effettuato sul campione di acqua filtrato e sul filtrato su filtro

In Tabella 4 sono presentati gli esiti delle misure di caratterizzazione per la determinazione della concentrazione di Uranio e dell'attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) effettuate sulla componente disciolta (CD) dei 20 campioni di acqua (acqua filtrata) prelevati nel setto destro del serbatoio.

**Tabella 4. Acqua nel setto destro del serbatoio - componente disciolta (CD): esiti delle determinazioni della concentrazione,  $C_{A,CD}$ , di uranio e dell'attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) nei campioni di acqua filtrata**

Camp.	U-238		U-235		U235/U238 in massa	U <sub>nat</sub>		Att. alfa tot.		Att. beta tot.	
	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)		$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)
S1	4,27E-03	4,1%	2,00E-04	7,0%	7,26E-03	8,74E-03	4,1%	7,95E-02	9,4%	1,63E+00	5,6%
S2	3,78E-03	4,1%	1,78E-04	8,3%	7,30E-03	7,74E-03	4,1%	3,50E-02	17%	1,65E+00	5,6%
S3	3,87E-03	4,3%	1,76E-04	10%	7,05E-03	7,92E-03	4,3%	5,27E-02	13%	1,50E+00	5,7%
S4	3,96E-03	4,0%	1,85E-04	9,2%	7,25E-03	8,11E-03	4,0%	4,20E-02	15%	1,52E+00	5,7%
S5	4,22E-03	4,2%	1,92E-04	12%	7,07E-03	8,63E-03	4,2%	8,53E-02	9,2%	1,69E+00	5,5%
S8	4,36E-03	4,0%	2,01E-04	7,8%	7,17E-03	8,92E-03	4,0%	8,84E-02	9,0%	1,73E+00	5,5%
S9	4,34E-03	4,2%	2,08E-04	9,6%	7,45E-03	8,89E-03	4,2%	7,37E-02	10%	1,36E+00	6,4%
S10	4,50E-03	4,1%	2,00E-04	11%	6,90E-03	9,20E-03	4,1%	4,11E-02	15%	1,71E+00	5,4%
S dx 1S	3,71E-03	4,2%	1,68E-04	8,6%	7,02E-03	7,59E-03	4,2%	6,70E-02	9,8%	1,47E+00	5,8%
S dx 2S	3,78E-03	4,3%	1,77E-04	11,0%	7,26E-03	7,74E-03	4,3%	4,33E-02	11%	1,58E+00	5,6%
S dx 3S	3,69E-03	4,1%	1,69E-04	8,4%	7,10E-03	7,55E-03	4,1%	7,36E-02	9,5%	1,51E+00	5,8%
S dx 4S	4,33E-03	4,2%	1,98E-04	6,9%	7,09E-03	8,86E-03	4,2%	3,32E-02	11%	1,52E+00	5,8%
S dx 5S	4,25E-03	4,3%	1,97E-04	8,8%	7,19E-03	8,70E-03	4,3%	4,13E-02	11%	1,28E+00	7,0%
S dx 1F	3,97E-03	4,1%	1,85E-04	7,2%	7,23E-03	8,13E-03	4,1%	7,19E-02	9,5%	1,54E+00	5,8%
S dx 2F	3,35E-03	4,0%	1,56E-04	10,0%	7,22E-03	6,86E-03	4,0%	4,06E-02	11%	1,19E+00	7,2%
S dx 3F	3,57E-03	4,2%	1,64E-04	8,9%	7,12E-03	7,30E-03	4,2%	5,54E-02	10%	1,24E+00	7,1%
S dx 4F	3,66E-03	4,1%	1,68E-04	7,4%	7,10E-03	7,49E-03	4,1%	6,52E-02	9,7%	1,46E+00	5,9%
S dx 5F	3,98E-03	4,2%	1,82E-04	8,5%	7,11E-03	8,14E-03	4,2%	4,22E-02	10%	1,37E+00	6,8%
S dx 6F	3,83E-03	4,0%	1,75E-04	10,0%	7,09E-03	7,84E-03	4,0%	6,78E-02	9,7%	1,32E+00	6,9%
S dx 7F	4,09E-03	4,3%	1,92E-04	6,7%	7,28E-03	8,37E-03	4,3%	7,99E-02	9,4%	1,45E+00	5,9%
$m_a^{(*)}$	3,98E-03	----	1,84E-04	----	7,16E-03	8,13E-03	----	5,90E-02	----	1,49E+00	----
DSC <sup>(*)</sup>	3,1E-04	----	1,5E-05	----	1,2E-04	6,4E-04	----	1,82E-02	----	1,6E-01	----
DSG <sup>(*)</sup>	1,08	----	1,08	----	1,02	1,08	----	1,38	----	1,11	----

(\*)  $m_a$  = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - DSG = Deviazione Standard Geometrica - S = incertezza percentuale della misura con fattore di copertura k=1.

Le misure di spettrometria gamma effettuate sui 20 campioni di acqua filtrata ai fini della determinazione dell'attività nella componente disciolta hanno tutte fornito risultati inferiori ai valori specifici della minima attività rivelabile, MDA (vedi valori di riferimento nel prospetto sottostante).

Campione (acqua filtrata)	Radionuclide	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	MDA Acqua in beker di Marinelli (Bq/kg <sub>camp</sub> )
Tutti da S1 a S-dx-7F	Cs-137	< MDA	0,23
	U-235	< MDA	0,48
	U-238 (via Th-234)	< MDA	9,5
	Th-232 (via Ac-228)	< MDA	0,50

Per quanto attiene la componente sospesa, analizzata sulla base di misurazioni effettuate nel filtrato su filtro (FF), sia la spettrometria gamma, effettuate in geometria "filtro, che la determinazione dell'attività alfa totale e beta totale hanno fornito per tutti i campioni risultati sempre inferiori ai valori specifici della minima attività rivelabile, MDA (vedi valori di riferimento nel prospetto sottostante):

Campione (filtrato su filtro)	Radionuclide	$C_{A,FF}$ Attività (Bq/kg <sub>camp</sub> )	MDA Filtrato su filtro (Bq/kg <sub>camp</sub> )
Tutti da S1 a S-dx-7F	Cs-137	< MDA	0,12
	U-235	< MDA	0,37
	U-238 (via Th-234)	< MDA	6,2
	Th-232 (via Ac-228)	< MDA	0,32
	Attività alfa totale	< MDA	6,3E-02
	Attività beta totale	< MDA	1,0E-01

Diversamente dall'acqua della vasca, in questo caso non è stata altresì rilevata alcuna differenza statisticamente significativa (test di Student), fra la concentrazione totale media di uranio misurata nel campione tal quale e quella misurata nella componente disciolta, quest'ultima risultata addirittura in media leggermente superiore in termini assoluti.

Il contributo della componente sospesa alla concentrazione totale di  $U_{nat}$  nell'acqua contenuta nel setto destro del serbatoio è dunque da considerarsi assolutamente trascurabile e del tutto irrilevante ai fini della caratterizzazione radiologica della matrice.


I dati inerenti la componente sospesa non sono pertanto riportati e, come per il bianco, la valutazione del contenuto di uranio viene fissata assumendo l'intera concentrazione di attività dovuta alla componente disciolta:  $C_{A,TOT} \cong C_{A,CD}$ .

Tutti i risultati delle misure sono visionabili nell' Allegato referti da pag. 81/203 a pag. 140/203.

## 4.2. Analisi dei risultati

Dall'analisi dei dati si osserva innanzitutto che la concentrazione di uranio, come desumibile dal rapporto U-235/U-238 sempre in composizione isotopica naturale, è mediamente pari a circa il 50% di quella riscontrata nel bianco, con una dispersione dei dati comparabile.

Di contro i livelli di attività alfa totale (per cui l'uranio pesa in media poco meno del 14%) e di attività beta totale risultano decisamente superiori, rispetto ai campioni di "bianco", e molto più simili a quelli misurati nell'acqua della vasca, sia in termini assoluti che relativi

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 14	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------	----------

(valor medio del rapporto attività alfa totale/beta totale pari rispettivamente al 4,0% (vedi Tabella 4) e al 3,6% (vedi Tabella 2)).

## 5. CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUA DEL SERBATOIO – SETTO SINISTRO

Dei 20 campioni di liquido prelevati nel setto destro del serbatoio:

- in 17 di essi non è stata rilevata la presenza di materiale depositato (sedimento) e la filtrazione non ha in alcun caso portato al recupero di un quantitativo di materiale utile per una misurazione diretta della componente sospesa (CS).
- in 3 di essi, tutti collezionati sul fondo del serbatoio nel corso del campionamento del 21 giugno 2018, è stata rilevata la presenza di sedimento che, raccolto con la filtrazione, ha poi permesso di effettuare, se pur parzialmente, alcune delle misurazioni previste direttamente sul materiale filtrato.

### 5.1. Risultati delle misure

I campioni sono stati caratterizzati attraverso le seguenti tipologie di misura:

- spettrometria gamma, effettuata sul campione di acqua filtrato e sul “filtrato su filtro”;
- determinazione mediante spettrometria di massa di tipo ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U-235) senza pretrattamento chimico-fisico;
- determinazione dell'attività alfa totale e beta totale sul campione di acqua filtrato e sul “filtrato su filtro”.

Le misure di spettrometria gamma su tutti i 20 campioni del campione di acqua filtrata ai fini della determinazione dell'attività nella componente disciolta hanno sempre fornito risultati inferiori ai valori specifici della minima attività rivelabile, MDA (vedi prospetto sottostante per i valori di riferimento):

Campione (acqua filtrata)	Radionuclide	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	MDA Acqua in beker di Marinelli (Bq/kg <sub>camp</sub> )
Tutti da S13 a S-sx-5F	Cs-137	< MDA	0,23
	U-235	< MDA	0,48
	U-238 (via Th-234)	< MDA	9,5
	Th-232 (via Ac-228)	< MDA	0,50

Anche le misure di spettrometria gamma finalizzate alla determinazione di attività nella componente sospesa (CS), cioè sul materiale “filtrato su filtro” (FF), hanno anch'esse fornito sempre valori inferiori ai valori specifici della minima attività rivelabile, MDA (vedi prospetto sottostante per i valori di riferimento):

Campione (filtrato su filtro)	Radionuclide	$C_{A,FF}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	MDA (Bq/kg <sub>camp</sub> )
Tutti da S13 a S-sx-5F	Cs-137	< MDA	0,12
	U-235	< MDA	0,37
	U-238 (via Th-234)	< MDA	6,2
	Th-232 (via Ac-228)	< MDA	0,32

In Tabella 5 sono presentati gli esiti delle misure di caratterizzazione per la determinazione della concentrazione di Uranio e dell'attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) effettuate sulla componente disciolta (CD) dei 20 campioni di acqua (acqua filtrata) prelevati nel setto sinistro del serbatoio.

**Tabella 5. Acqua nel setto sinistro del serbatoio - componente disciolta (CD): esiti delle determinazioni della concentrazione di attività ( $C_{A,CD}$ ) di uranio e dell'attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) nei 20 campioni di acqua filtrata**

Camp.	U-238		U-235		U235/U238 (in massa)	U <sub>nat</sub>		Att. alfa tot.		Att. beta tot.	
	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)		$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,CD}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)
S13	5,27E-01	4,1%	2,43E-02	4,2%	7,15E-03	1,08E+00	4,1%	1,13E+00	5,5%	2,15E+00	4,8%
S14	5,05E-01	4,1%	2,35E-02	4,3%	7,22E-03	1,03E+00	4,1%	1,11E+00	5,4%	2,08E+00	4,9%
S15	5,38E-01	4,3%	2,50E-02	4,2%	7,21E-03	1,10E+00	4,3%	1,12E+00	5,4%	2,18E+00	4,8%
S16	5,16E-01	4,3%	2,40E-02	4,2%	7,21E-03	1,06E+00	4,3%	1,07E+00	5,5%	2,15E+00	4,7%
S17	5,13E-01	4,2%	2,39E-02	4,1%	7,23E-03	1,05E+00	4,2%	1,14E+00	5,5%	2,07E+00	4,9%
S18	4,78E-01	4,1%	2,20E-02	4,3%	7,14E-03	9,78E-01	4,1%	9,80E-01	5,6%	1,84E+00	5,2%
S19	4,51E-01	4,2%	2,08E-02	4,2%	7,15E-03	9,23E-01	4,2%	1,02E+00	5,5%	1,93E+00	5,0%
S20	4,55E-01	4,1%	2,11E-02	4,3%	7,19E-03	9,31E-01	4,1%	1,06E+00	5,5%	1,97E+00	4,9%
S sx 1S	4,57E-01	4,2%	2,15E-02	4,3%	7,30E-03	9,36E-01	4,2%	1,02E+00	5,5%	1,86E+00	5,2%
S sx 2S	4,64E-01	4,1%	2,21E-02	4,2%	7,39E-03	9,50E-01	4,1%	1,05E+00	5,5%	2,13E+00	4,9%
S sx 3S	4,61E-01	4,1%	2,19E-02	4,4%	7,37E-03	9,44E-01	4,1%	9,91E-01	5,6%	1,86E+00	5,2%
S sx 4S	4,82E-01	4,3%	2,23E-02	4,2%	7,18E-03	9,86E-01	4,3%	1,12E+00	5,4%	1,99E+00	5,0%
S sx 5S	4,73E-01	4,2%	2,19E-02	4,5%	7,18E-03	9,68E-01	4,2%	1,01E+00	5,5%	1,83E+00	5,2%
S sx 6S	4,78E-01	4,2%	2,22E-02	4,2%	7,20E-03	9,78E-01	4,2%	1,10E+00	5,4%	1,98E+00	5,0%
S sx 7S	5,00E-01	4,0%	2,33E-02	4,4%	7,23E-03	1,02E+00	4,0%	1,17E+00	5,5%	2,23E+00	4,8%
S sx 1F	4,39E-01	4,1%	2,05E-02	4,2%	7,24E-03	8,99E-01	4,1%	9,61E-01	5,7%	1,81E+00	5,2%
S sx 2F	4,44E-01	4,3%	2,04E-02	4,3%	7,13E-03	9,08E-01	4,3%	9,45E-01	5,8%	1,75E+00	5,4%
S sx 3F	4,27E-01	4,2%	1,96E-02	4,1%	7,12E-03	8,74E-01	4,2%	9,43E-01	5,8%	1,79E+00	5,4%
S sx 4F	4,20E-01	4,2%	1,98E-02	4,3%	7,31E-03	8,60E-01	4,2%	9,63E-01	5,7%	1,80E+00	5,4%
S sx 5F	4,00E-01	4,4%	1,85E-02	4,2%	7,17E-03	8,19E-01	4,4%	9,49E-01	5,8%	1,87E+00	5,2%
ma <sup>(1)</sup>	4,718E-01	----	2,19E-02	----	7,22E-03	9,65E-01	----	1,04E+00	----	1,96E+00	----
DSC <sup>(1)</sup>	3,7E-02	----	1,7E-03	----	7,5E-05	7,5E-02	----	7,4E-02	----	1,5E-01	----
DSG <sup>(1)</sup>	1,08	----	1,08	----	1,01	1,08	----	1,07	----	1,08	----

(\*)  $m_a$  = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - DSG = Deviazione Standard Geometrica - S = incertezza percentuale della misura con fattore di copertura  $k=1$ .

Per quanto attiene la componente sospesa, CS, tenuto conto, come detto:

- del riscontro in 3 campioni (S18, S19 e S20) di un filtrato quantificabile in massa e separabile dal filtro in quantità sufficiente per l'esecuzione delle misurazioni
- che tale filtrato era tuttavia associato alla presenza di un sedimento di cui non era comunque chiara l'effettiva classificazione come parte di CS,

ai fini della caratterizzazione si è proceduto con:

- A. esecuzione sull'intero set di 20 campioni della procedura generale adottata per la componente sospesa, indipendentemente dall'esito della filtrazione;
- B. esecuzione sul materiale raccolto con la filtrazione (MF) di S18, S19 e S20 della misurazione diretta della concentrazione di attività,  $C_{A,MF}$ , in Bq/kg<sub>MF</sub> di uranio

C. esecuzione per il campione S18 (unico per il quale la massa di MF risultava sufficiente) della determinazione dell'attività alfa totale e beta totale.

In modo analogo a quanto effettuato per l'acqua della vasca, in Tabella 6 vengono presentati i valori della concentrazione totale,  $C_{A,TOT}$ , di uranio misurata nei 20 campioni in forma tal quale e la ripartizione, espressa in forma percentuale, della componente disciolta (CD/TOT), ottenuta per confronto con i corrispondenti dati  $U_{nat}$  di Tabella 5, e di quella sospesa (CS/TOT), calcolata come complemento a 100% del rapporto CD/TOT.

**Tabella 6. Acqua nel setto sinistro del serbatoio: esiti delle determinazioni della concentrazione totale,  $C_{A,TOT}$ , di uranio ottenuta misurando i 20 campioni in forma tal quale, e corrispondenti valori del contributo percentuale dovuto alla componente disciolta (CD) e sospesa (CS)**

Camp.	$^{238}\text{U}$		$^{235}\text{U}$		$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ (in massa)	$U_{nat}$		$U_{nat}$ CD/TOT (%)	$U_{nat}^{(**)}$ CS/TOT (%)
	$C_{A,TOT}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)	$C_{A,TOT}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)		$C_{A,TOT}$ (Bq/kg <sub>cam</sub> )	S <sup>(1)</sup> (%)		
S13	5,98E-01	4,2%	2,82E-02	4,2%	7,31E-03	1,22E+00	4,2%	88,1	11,9
S14	5,88E-01	4,0%	2,73E-02	4,3%	7,20E-03	1,20E+00	4,0%	85,9	14,1
S15	6,02E-01	4,1%	2,87E-02	4,2%	7,39E-03	1,24E+00	4,1%	88,7	11,3
S16	5,97E-01	4,1%	2,80E-02	4,2%	7,27E-03	1,22E+00	4,1%	86,4	13,6
S17	5,96E-01	4,1%	2,74E-02	4,2%	7,13E-03	1,22E+00	4,1%	86,1	13,9
S18	7,08E-01	4,2%	3,27E-02	4,1%	7,16E-03	1,45E+00	4,2%	67,5	32,5
S19	5,77E-01	4,0%	2,66E-02	4,3%	7,19E-03	1,18E+00	4,0%	78,2	21,8
S20	5,84E-01	4,3%	2,75E-02	4,2%	7,30E-03	1,20E+00	4,3%	77,9	22,1
S sx 1S	5,31E-01	4,2%	2,46E-02	4,3%	7,19E-03	1,09E+00	4,2%	86,1	14,2
S sx 2S	5,30E-01	4,1%	2,48E-02	4,2%	7,26E-03	1,08E+00	4,1%	87,6	12,8
S sx 3S	5,19E-01	4,1%	2,46E-02	4,4%	7,35E-03	1,06E+00	4,1%	88,8	10,9
S sx 4S	5,50E-01	4,3%	2,51E-02	4,2%	7,08E-03	1,13E+00	4,3%	87,7	12,0
S sx 5S	5,55E-01	4,2%	2,61E-02	4,5%	7,29E-03	1,14E+00	4,2%	85,2	15,2
S sx 6S	5,29E-01	4,2%	2,43E-02	4,2%	7,12E-03	1,08E+00	4,2%	90,4	9,6
S sx 7S	5,79E-01	4,0%	2,67E-02	4,4%	7,15E-03	1,18E+00	4,0%	86,4	13,6
S sx 1F	4,93E-01	4,1%	2,29E-02	4,2%	7,20E-03	1,01E+00	4,1%	89,1	11,1
S sx 2F	5,23E-01	4,3%	2,38E-02	4,2%	7,06E-03	1,07E+00	4,3%	84,9	15,0
S sx 3F	4,96E-01	4,2%	2,31E-02	4,1%	7,22E-03	1,02E+00	4,2%	86,1	14,4
S sx 4F	4,71E-01	4,2%	2,21E-02	4,3%	7,28E-03	9,64E-01	4,2%	89,2	10,8
S sx 5F	4,75E-01	4,1%	2,21E-02	4,2%	7,23E-03	9,72E-01	4,1%	84,2	15,8
$m_a^{(*)}$	5,55E-01	----	2,58E-02	----	7,22E-03	1,14E+00	----	85,2	14,8
DSC <sup>(*)</sup>	5,6E-02	----	2,6E-03	----	8,9E-05	1,1E-01	----	5,3	5,3
DSG <sup>(*)</sup>	1,10	----	1,10	----	----	1,10	----	----	----

(\*)  $m_a$  = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - DSG = Deviazione Standard Geometrica - S = incertezza percentuale della misura con fattore di copertura  $k=1$ .

(\*\*) Dato ottenuto come complemento a 100% del rapporto CD/TOT

In Tabella 7 sono invece esposti i valori di concentrazione di  $U_{nat}$  nella componente sospesa ( $C_{A,CS}$ ), stimati come detto sulla base delle misure sull'acqua pre e post filtrazione traducendo in termini assoluti i rapporti CS/TOT di Tabella 6; con essi vengono altresì riportati i dati di concentrazione ( $C_{A,FF}$ ) dell'attività alfa totale e beta totale ottenuti mediante misura del filtrato su filtro

I dati fra parentesi nelle ultime righe sono stati valutati "scartando" i campioni S18, S19 e S20.



**Tabella 7. Acqua nel setto sinistro del serbatoio: valori della concentrazione di uranio nella componente sospesa,  $C_{A,CS}$ , stimati sulla base delle misure sull'acqua pre e post filtrazione e valori misurati della concentrazione di attività alfa totale e beta totale (K-40 equivalente) del filtrato su filtro,  $C_{A,FF}$ , dei 20 campioni di acqua. I dati fra parentesi sono stati valutati scartando i campioni S18, S19 e S20**

Camp.	$U_{nat}$		Attività alfa totale		Attività beta totale		$U_{nat}/\text{alfa totale}$	alfa tot./beta tot.
	$C_{A,CS}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	$S^{(*)}$ (%)	$C_{A,FF}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	$S^{(*)}$ (%)	$C_{A,FF}$ (Bq/kg <sub>cam</sub> )	$S^{(*)}$ (%)	$C_{A,CS}/C_{A,FF}$ (%)	$C_{A,FF}/C_{A,FF}$
S13	1,46E-01	16%	1,82E-01	14%	1,32E-01	17%	80,2	1,38
S14	1,70E-01	13%	1,86E-01	15%	1,45E-01	15%	91,4	1,28
S15	1,32E-01	16%	1,73E-01	15%	1,33E-01	17%	76,1	1,30
S16	1,66E-01	14%	1,95E-01	13%	1,53E-01	15%	85,1	1,27
S17	1,71E-01	14%	1,98E-01	13%	1,34E-01	16%	86,4	1,48
S18	4,42E-01	5,4%	4,27E+00	5,4%	2,03E+00	5,7%	11,0	2,10
S19	2,58E-01	11%	4,96E-01	8,7%	2,68E-01	12%	52,0	1,85
S20	2,64E-01	8,3%	5,25E-01	8,5%	3,07E-01	11%	50,3	1,71
S sx 1S	1,51E-01	15%	1,88E-01	15%	1,40E-01	16%	80,4	1,34
S sx 2S	1,35E-01	16%	1,81E-01	15%	1,11E-01	22%	74,4	1,63
S sx 3S	1,19E-01	19%	1,27E-01	21%	< MDA	----	93,5	----
S sx 4S	1,39E-01	17%	1,55E-01	17%	1,36E-01	16%	89,5	1,14
S sx 5S	1,68E-01	14%	1,94E-01	13%	1,47E-01	15%	86,7	1,32
S sx 6S	1,03E-01	21%	1,28E-01	20%	< MDA	----	80,3	----
S sx 7S	1,61E-01	14%	1,92E-01	13%	1,42E-01	16%	84,1	1,35
S sx 1F	1,10E-01	19%	1,31E-01	20%	< MDA	----	84,3	----
S sx 2F	1,61E-01	14%	1,84E-01	15%	1,25E-01	19%	87,7	1,47
S sx 3F	1,42E-01	15%	1,78E-01	15%	1,60E-01	14%	79,5	1,11
S sx 4F	1,04E-01	20%	1,21E-01	22%	< MDA	----	86,2	----
S sx 5F	1,54E-01	15%	1,99E-01	13%	1,33E-01	17%	77,2	1,50
$m_a^{(*)}$	1,68E-01	---	4,1E-01	---	2,4E-01 <sup>(**)</sup>	---	76,7 (83,7)	1,45
DSC <sup>(*)</sup>	7,8E-02	---	9,1E-01	---	4,2E-01 <sup>(**)</sup>	---	19,1 (5,4)	0,26
DSG <sup>(*)</sup>	1,45 (1,25)	---	2,24 (1,25)	---	1,95 (1,17) <sup>(**)</sup>	---	---	---

(\*)  $m_a$  = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - DSG = Deviazione Standard Geometrica – S = incertezza percentuale della misura con fattore di copertura  $k=1$ .

(\*\*) Valori dell'incertezza della misura (fattore di copertura  $k=1$ ) calcolati componendo l'incertezza relativa associata al fattore di conversione del conteggio in massa impiegato per le misure ICP-MS e quella associata al rapporto CD/TOT (Tabella 6), quest'ultima moltiplicata per il fattore di scala  $(CD/TOT)/(CS/CTOT)$ . L'incertezza del rapporto CD/TOT è stata valutata sulla base delle incertezze relative dei dati di conteggio (in ppt) ottenuti con ICP-MS per la misura della concentrazione di uranio rispettivamente nella componente disciolta (CD) e nel campione tal quale (TOT).

(\*\*\*) Per l'attività beta totale media, deviazione standard campionaria e deviazione standard geometrica sono stati calcolati ponendo i valori < MDA pari alla MDA stessa.

In Tabella 8 sono infine riportati per i campioni S18, S19 e S20, i soli con presenza visibile di sedimento e per cui la filtrazione ha permesso di ottenere una massa di filtrato quantificabile ed estraibile dal filtro, gli esiti delle determinazioni della concentrazione di attività nel materiale filtrato,  $C_{A,MF}$ , di uranio (per tutti i 3 campioni) e dell'attività alfa totale e

dell'attività beta totale per S18, unico per cui è stato possibile ricavare una massa di materiale sufficiente per effettuare entrambe le misure. [a]

**Tabella 8. Setto sinistro del serbatoio: esiti delle determinazioni della concentrazione di attività nel materiale filtrato,  $C_{A,MF}$ , di uranio, dell'attività alfa totale e dell'attività beta totale per i 3 campioni di acqua in cui la filtrazione ha permesso di estrarre un quantitativo di materiale quantificabile in massa**

Camp.	U-238		U-235		U235/U238	U <sub>nat</sub>		Att. alfa totale		Att. beta totale	
	$C_{A,MF}$	S <sup>(1)</sup>	$C_{A,MF}$	S <sup>(1)</sup>	In massa	$C_{A,MF}$	S	$C_{A,MF}$	S <sup>(1)</sup>	$C_{A,MF}$	S <sup>(1)</sup>
	(Bq/g <sub>MF</sub> )	(%)	(Bq/g <sub>MF</sub> )	(%)		(Bq/g <sub>MF</sub> )	(%)	(Bq/g <sub>MF</sub> )	(%)	(Bq/g <sub>MF</sub> )	(%)
S18	2,00E+01	4,1%	9,27E-01	4,4%	7,20E-03	4,10E+01	4,1%	4,82E+01	11%	1,88E+01	10%
S19	1,73E+01	4,2%	8,15E-01	4,3%	7,34E-03	3,58E+01	4,2%	ND <sup>(2)</sup>	---	ND	---
S20	1,76E+01	4,1%	8,27E-01	4,2%	7,31E-03	3,60E+01	4,1%	ND	---	ND	---
m <sub>a</sub> <sup>(*)</sup>	1,83E+01	---	8,57E-01	---	7,29E-03	3,75E+01	---	---	---	---	---
DSC <sup>(*)</sup>	8,2%	---	7,2%	---	1,0%	8,2%	---	---	---	---	---

(\*) m<sub>a</sub> = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - S = incertezza percentuale della misura con fattore di copertura k=1.

Tutti i risultati delle misure sono visionabili nell'Allegato referti da pag. 141/203 a pag. 203/203.

## 5.2. Analisi dei risultati

Premesso che anche in questo caso i valori ottenuti per il rapporto in massa U-235/U-238 conferma che l'uranio presente è sempre in forma naturale, all'analisi dei risultati di Tabella 5 appare innanzitutto evidente come la concentrazione di U<sub>nat</sub> nella componente disciolta si attesti costantemente su livelli assai superiori (da 50 a 100 volte) rispetto sia al bianco che alle altre acque considerate.

Confrontando questo dato con quanto ottenuto per l'attività alfa totale si rileva che U<sub>nat</sub> contribuisce ad essa mediamente per poco meno del 93%, mentre il rimanente 7% corrisponde sostanzialmente al livello di concentrazione di attività alfa totale riscontrato in media nei campioni del setto destro.

Sempre rispetto ai campioni del setto destro, si rileva un incremento medio pari approssimativamente a 0,5 Bq/kg<sub>camp</sub> per quanto attiene l'attività beta totale. Quest'ultimo dato è peraltro in linea con la più che verosimile presenza aggiuntiva di Th-234 e Pa-234m prodotta dal decadimento del U-238 presente in quantità maggiori.

Tutto ciò considerato, confermando quanto osservato in fase di pre-caratterizzazione, ne deriva che nella componente disciolta dell'acqua del setto sinistro:

- è presente uranio naturale con concentrazione media dell'ordine di 1 Bq/kg<sub>camp</sub>, che nelle condizioni date è da ricondurre a una contaminazione in modo pressoché certo ad attività antropiche;

[a] Si segnala che i valori di U-235 di Tabella 8 sono stati corretti rispetto alla versione della stessa tabella presentata nel documento di pre-caratterizzazione, IRP-P000-011, in quanto lì riportati, per un refuso, con un erroneo esponente ("E-02" invece del corretto "E-01").

- non si rileva presenza di contaminazione significativa da altri radionuclidi artificiali o naturali, ivi inclusi i figli dell'U-238 successivi al U-234. Ciò, sulla scorta delle informazioni disponibili, porta ad individuare l'origine della contaminazione da  $U_{nat}$  nel combustibile nucleare oggetto di lavorazione nell'impianto MAGNOX.

Dall'analisi dei dati in Tabella 6 emerge innanzitutto, rispetto alle altre acque e a fronte di valori di concentrazione nella componente disciolta sostanzialmente omogenei, il peso decisamente maggiore rivestito in questa matrice dalla componente sospesa nella determinazione della concentrazione complessiva di uranio, così come l'evidente differenza sussistente in tal senso fra i campioni con massa del filtrato determinabile (S18, S19 e S20) e non. Se per questi ultimi appare infatti emergere, al netto delle incertezze, una buona uniformità del rapporto CS/TOT (compresa fra 9,6% e 15,8%), per i primi si osservano invece valori decisamente più elevati in un quadro di variabilità più accentuata.

La cosa risulta ancor più evidente dai dati di Tabella 7, ove si rileva innanzitutto una riduzione estremamente significativa della dispersione dei dati (valori di deviazione standard geometrica, DSG) passando dal set di dati completo ai set di dati che esclude i 3 campioni con sedimento (valori fra parentesi in tabella),

A ciò vanno aggiunte le incongruenze che emergono confrontando i dati inerenti i campioni con filtrato quantificabile (S18, S19 e S20) con quelli dei restanti campioni del setto sx, in particolare, il rapporto  $C_{A,CS}/C_{A,FF}$  (vedi in specie il campione 18), incongruenze che sollevano più di un dubbio sulla correttezza dell'impiego della filtrazione come metodo di prelievo della componente sospesa nel caso di campioni caratterizzati dalla presenza di un deposito quantitativamente apprezzabile.


Un elemento di chiarezza su questo problema è offerta dall'analisi dei dati di Tabella 8 ove sono riportati gli esiti delle misure eseguite direttamente sul materiale MF dei campioni S18, S19 S20, e soprattutto da quelli di Tabella 9 ove tali valori vengono tradotti in termini di concentrazione di attività nella componente sospesa,  $C_{A,CS}$ , nell'ipotesi  $CS \equiv MF$ .

**Tabella 9. Setto sinistro del serbatoio in acciaio: valori calcolati della concentrazione di attività,  $C_{A,CS=MF}$ , di uranio, dell'attività alfa totale e dell'attività beta totale nell'ipotesi che la componente sospesa sia identificabile col materiale filtrato ( $CS=MF$ ).**

ID camp.	Massa campione (kg)	MF nel campione <sup>(1)</sup> (gMF/kg <sub>camp</sub> )	$U_{nat}$		Att. alfa totale		Att. beta totale	
			$C_{A,CS=MF}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S (%)	$C_{A,CS=MF}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S (%)	$C_{A,CS=MF}$ (Bq/kg <sub>camp</sub> )	S (%)
S18	0,98	1,15E-01	4,72E+00	4,1%	5,24E+00	11%	2,16E+00	10%
S19	1,01	1,09E-02	3,94E-01	4,2%	ND	----	ND	----
S20	1,03	1,30E-02	4,68E-01	4,1%	ND	----	ND	----
$m_a^{(*)}$	----	----	1,87E+00		----	----	----	----
DSC <sup>(*)</sup>	----	----	133%		----	----	----	----

(\*)  $m_a$  = media aritmetica - DSC = deviazione standard campionaria - S = incertezza percentuale della misura (fattore di copertura  $k=1$ ).

Premesso che la rilevazione di una concentrazione di attività di  $U_{nat}$  nel materiale filtrato, MF, compresa fra  $3,58E+04$  Bq/kg e  $4,10E+04$  Bq/kg,

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 20	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------	----------

- attesta inequivocabilmente la presenza di materiale classificabile come rifiuto radioattivo depositato sul fondo del setto sinistro del serbatoio,
- conferma quanto desunto dalle analisi eseguite sulla componente disciolta circa la contaminazione da  $U_{nat}$  e la sua origine antropica.

dall'analisi comparata dei dati di Tabella 7 e Tabella 9, si osserva infatti che per quanto attiene la concentrazione di  $U_{nat}$  nella componente sospesa,  $C_{A,CS}$ , per ciascuno dei 3 campioni con presenza significativa di deposito non sussiste non solo un'evidente e non giustificabile differenza ricavandone il valore rispettivamente dalla misura sull'acqua e nell'ipotesi  $CS \equiv MF$ , ma che tale differenza risulta crescente in ragione della quantità di materiale MF collezionato (si va da una variazione di poco meno di un fattore 2 per S19 ad un fattore 10 per S18).


Detta ipotesi, già fortemente confutata dalla precedente osservazione, diventa del tutto non verosimile rilevando le differenze di concentrazione totale di uranio, fino ad oltre un fattore 5, che con la sua adozione si riscontrerebbero all'interno del set di 10 campioni prelevati sul fondo del serbatoio (campioni da S16 a S20 e da S-sx-1F a S-sx-5F). A tale proposito deve infatti essere considerato che, stante la conformazione del bocchettone di accesso del serbatoio, tali campioni sono stati tutti prelevati sostanzialmente nello stesso punto e alla stessa distanza dal fondo, nel caso della prima campagna di campionamenti, addirittura in successione a partire da S16 fino a S20. Il tutto in una matrice per sua natura tendente ad omogeneizzarsi e confinata in un ambiente evidentemente indisturbato.

Sulla base di tali elementi è inevitabile concludere che il materiale rilevato come deposito sul fondo dei contenitori dei campioni S18, S19 e S20 non può essere considerato parte dei campioni stessi. Esso costituisce pertanto una matrice "altra", non visibile all'atto del campionamento, prelevata contemporaneamente all'acqua del serbatoio a seguito di un artefatto verosimilmente ascrivibile alle modalità di campionamento (e.g. prelievi pressoché a contatto col fondo del serbatoio)

Tutto ciò configura la presenza di un nuovo gruppo omogeneo "sedimento del setto sinistro del serbatoio" che, tenuto conto del livello di concentrazione di uranio che lo caratterizza, dovrà essere necessariamente considerato nelle future azioni .

Per quanto attiene il liquido (acqua) presente nel setto sinistro del serbatoio si può in conclusione affermare che:

- è presente una contaminazione da uranio in forma naturale ( $U_{nat}$ );
- la contaminazione riscontrata è sicuramente di origine antropica da attribuirsi verosimilmente alle attività svolte presso l'impianto Magnox;
- non è presente contaminazione da altri radionuclidi artificiali o naturali, ivi inclusi i figli del U-238 successivi al U-234;
- la concentrazione totale di  $U_{nat}$  si attesta nell'intervallo 0,96 - 1,45 Bq/kg<sub>camp</sub> (media = 1,14 Bq/kg<sub>camp</sub>, deviazione standard campionaria = 0.11 Bq/kg<sub>camp</sub>);
- il contributo della componente disciolta alla concentrazione totale è pari in media all'85,2% (in termini assoluti poco meno di 1 Bq/kg<sub>camp</sub>);
- per quanto attiene la componente sospesa si rileva una situazione non univocamente definita in relazione alla presenza di una significativa quantità di materiale depositato in 3 dei 20 campioni, fatto che testimonia della presenza di sedimento sul fondo del serbatoio;

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 21	di 23
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------	----------

- nei 17 campioni in cui non è presente deposito visibile, la concentrazione di uranio nella componente sospesa, determinata per confronto fra la concentrazione totale misurata nel campione in forma tal quale e dopo sua filtrazione, è risultata compresa fra 0,10 e 0,17 Bq/kg<sub>camp</sub> (9,6% e il 15,8% della concentrazione totale);
- nei 3 campioni con significativa presenza di deposito la concentrazione di uranio nella componente sospesa, determinata per confronto fra la concentrazione totale misurata nel campione in forma tal quale e dopo sua filtrazione risulta invece compresa tra 0,26 a 0,44 Bq/kg<sub>camp</sub>, (fra il 22% e il 33% della concentrazione totale);
- il deposito evidenziabile nei 3 suddetti campioni non può essere classificato come facente parte della componente sospesa ma costituisce una matrice a sè stante (i.e sedimento del setto sinistro del serbatoio) che dovrà essere oggetto di valutazione nelle future azioni;
- sulla base delle analisi effettuate la concentrazione in attività di U<sub>nat</sub> nel sedimento del setto sx è stimato in circa 40 Bq/g (corrispondente a una concentrazione in massa approssimativamente dello 0,15%);
- la concentrazione in attività di U<sub>nat</sub> nel sedimento del setto sx configura la classificazione del sedimento del setto sinistro del serbatoio come rifiuto radioattivo, di massa e attività complessive al momento non quantificabili;
- la presenza del sedimento, in ragione di azioni meccaniche, o di di particolari condizioni al contorno che ne causino la ri-sospensione, può determinare variazioni più o meno temporanee e significative dello stato radiologico della matrice liquida sovrastante.

## 6. CONCLUSIONI

In Tabella 10 vengono riassunti i dati peculiari inerenti il contenuto di uranio naturale nelle matrici oggetto della caratterizzazione e nel campione di confronto (bianco).

**Tabella 10. Caratterizzazione delle matrici liquide delle componenti residue dell'ex impianto MAGNOX: dati riassuntivi inerenti la concentrazione di uranio naturale per tutti i set di campioni analizzati**

Matrice	camp. usati n.	Uranio naturale				DSC (%)	DSG	C <sub>A,CD</sub> ( <sup>**</sup> ) media (%)	C <sub>A,CS</sub> ( <sup>***</sup> ) media (%)
		min (Bq/kg <sub>camp</sub> )	max (Bq/kg <sub>camp</sub> )	C <sub>A,TOT</sub> ( <sup>*</sup> ) m <sub>a</sub> (Bq/kg <sub>camp</sub> )					
Bianco - acqua rete Trisaia	20	1,53E-02	1,97E-02	1,69E-02		6,5%	1,06	≅ 100%	≅ 0%
Acqua vasca in cemento	20	1,68E-02	1,94E-02	1,83E-02		3,4%	1,03	94,2%	5,8%
Acqua serbatoio setto destro	20	6,86E-03	9,20E-03	8,13E-03		7,9%	1,08	≅100%	≅ 0%
acqua serbatoio setto sinistro	20	9,64E-01	1,45E+00	1,14e+00		9,7%	1,10	85,2%	14,8%
sedimento setto sinistro	3	3,58E+04	4,10E+04	3,75E+04		8,2%	----	----	----


(\*) C<sub>A,TOT</sub> = concentrazione di attività totale di Unat – m<sub>a</sub> = media aritmetica – DSC = deviazione standard campionaria – DSG = deviazione standard geometrica

(\*\*) C<sub>A,CD</sub> = contributo percentuale della componente disciolta alla concentrazione di attività totale

(\*\*\*) C<sub>A,CS</sub> = contributo percentuale della componente sospesa alla concentrazione di attività totale

Premesso che la caratterizzazione, a meno delle variazioni assolutamente non rilevanti dei dati numerici determinate dal numero di campioni considerati, conferma pienamente quanto emerso dalla pre-caratterizzazione, sulla base delle risultanze delle analisi eseguite si può in conclusione affermare che:

- l'acqua contenuta nella vasca in cemento presenta un contenuto di uranio in forma naturale comparabile a quello del bianco, pur se leggermente superiore; la differenza risulta comunque irrilevante in termini assoluti (mediamente pari a 1,4 mBq/kg)
- l'acqua del setto destro del serbatoio è caratterizzata da una concentrazione di uranio significativamente inferiore a quella del bianco (in media circa il 50%);
- l'acqua del setto sinistro del serbatoio è caratterizzata da contenuto di uranio significativamente superiore ai campioni di bianco (concentrazione di attività dell'ordine di 1 Bq/kg);
- sul fondo del serbatoio del setto sinistro è emersa la presenza di un sedimento, allo stato non quantificabile in massa né in attività complessiva, con un livello di concentrazione di uranio stimato in poco meno di 40 Bq/g che inequivocabilmente lo configura come rifiuto radioattivo.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-012	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag.</b> 23	<b>di</b> 23
---	-----------------------------	--------------	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

## 7. RIFERIMENTI

---

- <sup>1</sup> IRP-P000-010 “PIANO DI CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DELLE PARTI RESIDUE IN AREA ENEA DELL’IMPIANTO CO.NU-MAGNOX – Fase 1” (da qui in avanti denominato per concisione “Piano”).
- <sup>2</sup> IRP-P000-011 “CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DELLE PARTI RESIDUE DELL’IMPIANTO CO.NU-MAGNOX – FASE 1: ESITI DELLE MISURE DI PRE-CARATTERIZZAZIONE DELLA MATRICE ACQUA
- <sup>3</sup> “Referti delle misure di caratterizzazione della matrice acqua presente nelle componenti residue dell’ex-impianto CO.NU MAGNOX”, ALLEGATO al documento IRP-P000-012