

Titolo

**RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DELLE PARTI RESIDUE IN
 AREA ENEA DELL'IMPIANTO CO.NU-MAGNOX
 – FASE 2 – CONDOTTA E TERRENO
 E VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI ALLONTANABILITA' DEI MATERIALI**

Descrittori
Tipologia del documento: Rapporto Tecnico

Collocazione contrattuale:
Argomenti trattati: Risultati di misure radiologiche per caratterizzazione condotta e terreno


Sommario

Vengono presentati i risultati delle misure per la caratterizzazione radiologica delle parti residue relative all'ex-impianto CO.NU Magnox da rimuovere nella Fase 2, in particolare della condotta e del terreno circostante ad essa.

Vengono inoltre presentati gli esiti della verifica dei criteri di allontanabilità proposti a ISIN e accettati con condizioni per l'allontanamento/riutilizzo dei materiali indicati.


Note
Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	08/05/2020	NOME	C.M. Castellani	P. Battisti	E. Fantuzzi
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 2	di 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

Indice

1. SCOPO	3
2. OGGETTO	4
3. MISURE DA EFFETTUARE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA CONDOTTA E DEL TERRENO AD ESSA CIRCOSTANTE	4
4. DESCRIZIONE DELLA REALIZZAZIONE DEI PRELIEVI E DELLE SUCCESSIVE MISURE DELLA CONDOTTA E DEL TERRENO SOTTOSTANTE	5
4.1. Modalità operative di intervento per la condotta	5
4.2. Modalità operative di intervento per il terreno in esame	6
4.3. Modalità operative di intervento per il terreno "Bianco"	6
5. PRE-CARATTERIZZAZIONE DELLA CONDOTTA	7
5.1. Modalità prelievo e trattamento dei campioni	7
5.2. Strumentazione utilizzata e modalità di misura	7
5.3. Risultati delle misure	7
5.4. Verifica della condizione di "gruppo omogeneo" per la condotta	8
5.5. Calcolo della numerosità N del campione di caratterizzazione	9
6. CARATTERIZZAZIONE DELLA CONDOTTA	10
7. PRE-CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO	11
7.1. Modalità di prelievo e trattamento dei campioni	11
7.2. Strumentazione utilizzata e modalità di misura	11
7.3. Risultati delle misure	12
7.4. Verifica della condizione di "gruppo omogeneo" per il terreno	12
7.5. Calcolo della numerosità N del campione di caratterizzazione	14
8. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO	15
9. VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI ALLONTANABILITÀ DELLA CONDOTTA	17
10. VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI ALLONTANABILITÀ DEL TERRENO	18
11. CONCLUSIONI	19
12. RIFERIMENTI	20
13. ALLEGATO: REFERTI DELLE MISURE	21

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 3	di 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

1. SCOPO

Il presente documento ha lo scopo di presentare gli esiti delle misure di caratterizzazione radiologica progettata nel documento *Piano di Caratterizzazione radiologica delle parti residue in area ENEA dell'impianto CO.NU-Magnox e criteri di allontanamento dei materiali – Fase 2* [1] di seguito chiamato *Piano di caratterizzazione* e si riferisce alle operazioni realizzate per la rimozione della condotta e conseguente movimentazione del terreno da essa attraversato, oggetto di bonifica nella cosiddetta *Fase 2* del piano di rimozione.

Nel dettaglio gli obiettivi sottesi dal piano per la Fase 2 sono schematizzabili come segue:

- caratterizzazione radiologica del materiale plastico costituente la condotta (polipropilene ad alta densità ipotizzato come gruppo omogeneo) al fine di comprovarne l'assenza di vincoli di natura radiologica per il successivo riutilizzo e/o smaltimento a valle dei rilievi per sostanze convenzionali;
- caratterizzazione radiologica del terreno circostante la condotta (ipotizzato come gruppo omogeneo) al fine di comprovarne la possibilità di allontanamento come materiale "esente da vincoli di natura radiologica" e poter rendere disponibile il terreno stesso per le analisi chimiche convenzionali, al fine di procedere al re-interro lungo tutta l'estensione dello scavo.

Tutte le misure sono state eseguite presso il *Laboratorio Integrato di Monitoraggio e Misura della radioattività* (IRP-MIR) dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA.

Si sottolinea che il *Piano di Caratterizzazione*:

- tiene conto delle indicazioni ricevute da Centro Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione dell' I.S.P.R.A. nella lettera Prot. 29087 del 23/04/2018 [2];
- in analogia al Piano di caratterizzazione di cui alla Fase 1, *Piano di Caratterizzazione radiologica delle parti residue in area ENEA dell'Impianto CO.NU. Magnox – Fase 1*, IRP-P000-010 [3], fornisce le modalità d'effettuazione delle fasi di pre-caratterizzazione e caratterizzazione finale per le due matrici (materiale costituente la condotta e terreno) previa individuazione dei rispettivi livelli di allontanamento, espressi in concentrazione massica;
- fornisce altresì i livelli di allontanamento individuati per i materiali in esame condivisi da ISIN con lettera Prot. 2606 del 08/05/2019, che ne specifica altresì le condizioni di applicazione [4].

I livelli di allontanamento sono stati individuati per l'Uranio in forma naturale (unico contaminante radioattivo potenzialmente presente in seguito alle attività Magnox) riferendosi al solo U-238, cosiddetto *livello di allontanamento normalizzato, LAN₂₃₈*, nell'assunto che gli ulteriori due radionuclidi costituenti, U-235 e U-234, siano sempre nelle proporzioni standard. Oltre che giustificata dalle attività svolte presso l'impianto, tale assunzione ha trovato conferma nelle risultanze delle determinazioni già effettuate sulle matrici liquide presenti nelle altre parti residue dell'impianto (serbatoio interrato).

In tutti i casi, i LAN₂₃₈ per la condotta ed il terreno, sono stati stabiliti affinché sia soddisfatto il criterio del limite di dose efficace di 10 μ Sv/anno per qualsiasi individuo della popolazione, in ottemperanza alla condizione a) per la parte ENEA, indicata dal Centro Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione dell' I.S.P.R.A. nella sopra citata lettera ISPRA-CNSNR del 23 aprile 2018 [2].

2. OGGETTO

Oggetto del presente documento è presentare:

- le modalità di effettuazione dei prelievi del materiale plastico della condotta;
- le modalità di effettuazione dei prelievi del terreno circostante la condotta, di seguito indicato con “terreno in esame”;
- le modalità di effettuazione dei prelievi del cosiddetto terreno “bianco”, inteso come terreno non coinvolto dalle attività dell’impianto Magnox o più in generale da attività comportanti impiego di materiale radioattivo;
- per entrambe le matrici in esame (condotta e terreno), gli esiti della verifica della condizione di *gruppo omogeneo*, effettuata sulla base dei risultati delle misurazioni estese ad un sottoinsieme di campioni di numerosità N_{pre} ;
- le modalità di calcolo e i risultati della numerosità minima di campioni N da sottoporre a misura per la condotta;
- le modalità di calcolo e i risultati circa la numerosità minima di campioni N/2 da sottoporre a misura sia per il terreno in esame che per il terreno bianco;
- tutti i risultati delle misure effettuate sui campioni di condotta, di terreno circostante la condotta e di terreno “bianco”;
- alla luce di test effettuati sui risultati di misura, gli esiti della verifica delle condizioni di allontanabilità/riutilizzazione dei gruppi omogenei indicate da ISIN con lettera 8/5/2019 [4] e del Livello di allontanamento normalizzato all’U-238, LAN_{238} ;
- le conclusioni derivate dagli esiti delle misure e delle verifiche su di essi.


3. MISURE DA EFFETTUARE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA CONDOTTA E DEL TERRENO AD ESSA CIRCOSTANTE

In relazione al *Piano di caratterizzazione* radiologica presentato in IRP-P000-015 [1] e alla relativa approvazione con condizioni trasmessa con lettera ISIN Prot. 2606 del 8/5/2019 [4], si riportano in Tabella 1 il numero e la tipologia dei campioni da prelevare, il numero di campioni da misurare in pre-caratterizzazione, gli specifici radionuclidi da determinare e le tipologie di misura adottate.

Tabella 1: numerosità dei campioni da prelevare e misurare per i due gruppi omogenei sottoposti a indagine

Gruppo omogeneo	Numero campioni da prelevare	Numero campioni di “bianco” da prelevare	Numero campioni da misurare in pre-caratterizzazione (N_{pre})	Radioisotopi da misurare	Tipologia di misura adottata
Condotta in polipropilene	20	-	7	U-238 U-235	ICP-MS
Terreno sottostante la condotta	20	10	7	U-238 U-235	spettrometria gamma

Per ciascuno dei 2 gruppi omogenei i campioni da misurare in pre-caratterizzazione sono da selezionare in modo casuale tra tutti quelli prelevati.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 5	di 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

4. DESCRIZIONE DELLA REALIZZAZIONE DEI PRELIEVI E DELLE SUCCESSIVE MISURE DELLA CONDOTTA E DEL TERRENO SOTTOSTANTE

In data 16/12/2019 e 18/12/2019 è stato effettuato, mediante mezzo meccanico (micro-benna), lo scavo della trincea di larghezza pari a circa 1.3 m e profondità variabile fra 1 m e 1.8 m rispetto al piano campagna, in modo da scoprire completamente la condotta lungo l'intero suo tragitto.

Per il campionamento si è seguita puntualmente la procedura descritta nel *Piano di caratterizzazione* [1] che prevedeva la suddivisione della condotta, e corrispondentemente del terreno ad essa circostante, in 10 tratte, ciascuna di lunghezza indicativamente pari a 25 m, da identificarsi con lettere in sequenza dalla A (tratta iniziale in vicinanza dell'Edificio dell'ex-impianto Magnox) alla L (tratta finale in prossimità della recinzione con l'area SOGIN).


Seguendo il percorso della condotta nella direzione da A a L, le tratte sono state a loro volta sezionate con taglio in segmenti di lunghezza di riferimento pari a 80 cm, ottenendo così per ciascuna di esse 31 tronconi di tubazione, di cui 30 della lunghezza prefissata ed un ultimo di lunghezza risultata compresa fra i 63 e i 76 cm. Tali tronconi sono poi stati contrassegnati con codice composto dal numero progressivo corrispondente alla loro successione, preceduto dalla lettera identificativa della tratta di appartenenza (A1, A2,...A31,..., L1, L2,..., L31).

Il codice del segmento di tubazione è stato quindi utilizzato per identificare anche il terreno da essa attraversato, in modo da stabilire una corrispondenza biunivoca fra i campioni delle due matrici.

4.1. Modalità operative di intervento per la condotta

Rimandando al Piano Operativo [5] a cura della Direzione ISER del CR Trisaia per una descrizione dettagliata delle modalità operative di intervento, incluse escavazione e rimozione, si ricorda che la *condotta* è stata resa disponibile alla rimozione mediante escavazione di una trincea di profondità corrispondente al livello sotterraneo di stazionamento. A tale scopo si è proceduto con benna meccanica per proseguire, ove necessario, con strumenti manuali per ridurre i rischi di rottura della condotta stessa

Dopo segmentazione della condotta in 10 tratte di 25 metri e loro posizionamento a bordo scavo, si è proseguito con la marcatura delle superfici propedeutica all'ulteriore sezionamento di ciascuna tratta in tronconi da 80 cm. Previa selezione casuale per ciascuna delle 10 tratte di 2 tronconi (tronconi di campionamento), si è quindi passati al campionamento della condotta realizzato mediante taglio della sezione centrale, di 20 cm di lunghezza, di ciascuno dei 20 tronconi di campionamento. Da questi 20 campioni sono stati successivamente ricavati presso il laboratorio di misura i campioni di misura veri e propri.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 6	di 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

4.2. Modalità operative di intervento per il terreno in esame

Il dettaglio delle operazioni, incluse le modalità operative di escavazione e di rimozione sono state oggetto del piano operativo a cura della Direzione ISER del CR Trisaia [5].

Come detto per il *terreno* si è proceduto all'escavazione prima con con micro benna meccanica e quindi, ove necessario, con strumentazione manuale, con opportuno posizionamento a bordo scavo di tutto il terreno estratto.


I campioni per la caratterizzazione sono stati prelevati nel terreno sottostante il punto di stazionamento dei corrispondenti campioni di tubazione sottoposti a misura. Per il prelievo si è utilizzata una dima delimitante un volume di terreno di 2 litri (lato 20 cm, altezza 5 cm) raccogliendo 2 campioni contigui lungo la direzione della condotta, di cui uno a monte e uno a valle del punto centrale di posizionamento originale di ciascuno dei 20 tronconi di campionamento.

4.3. Modalità operative di intervento per il terreno “Bianco”

Il dettaglio delle operazioni, incluse le modalità operative di escavazione e di rimozione sono state oggetto del piano operativo a cura della Direzione ISER del CR Trisaia [5].

I campioni di Bianco di terreno sono stati prelevati mediante carotaggio effettuato in 10 diversi punti nella zona a monte dell'impianto CO.NU-Magnox.

Il campione è stato composto prelevando dalla carota, di diametro pari a 12 cm, lo strato di terreno compreso tra 120 e 170 cm sotto il piano campagna, corrispondente all' intervallo di valori entro il quale variava la profondità di interrimento della condotta. Dall'intero campione di terreno di circa 6 litri così raccolto, è stata quindi separata, dopo omogeneizzazione, un'aliquota di 3 litri per la preparazione del campione di misura. L'aliquota di terreno non impiegata, a cui successivamente è stata aggiunta la parte residua della preparazione del campione di misura, è stata invece conservate in busta di plastica sigillata per eventuali future esigenze.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 7	di 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------	----------

5. PRE-CARATTERIZZAZIONE DELLA CONDOTTA

Tutti i 20 campioni previsti per la caratterizzazione della condotta sono stati collezionati il 18/12/2019 seguendo puntualmente le modalità previste nel paragrafo 6.2 del *Piano di caratterizzazione* [1].

5.1. Modalità prelievo e trattamento dei campioni

Sono stati prelevati 2 campioni da sottoporre a misura per ognuna delle 10 tratte selezionando casualmente 2 tronconi fra i 31 in cui era stata suddivisa. Il taglio ed il confezionamento del campione, costituito da una sezione di tubatura di 20 cm posizionata al centro del troncone di prelievo, sono stati effettuati a bordo scavo dopo accurata pulitura della sola parte esterna del troncone stesso. Dopo sigillatura ed etichettatura, i campioni sono stati inviati al Laboratorio per la misura.

Giunti al laboratorio le sezioni prelevate sono state ulteriormente pulite esternamente. Per ognuna di esse è stato quindi estratto mediante taglio il campione da sottoporre a misura in spettrometria di massa tipo ICP costituito da un tassello passante con sezione rettangolare di superficie pari approssimativamente a 40 mm² e massa di circa 0,2 grammi posizionato nella parte inferiore della tubazione (appositamente contrassegnata all'atto del campionamento). Dopo aver sottoposto il campione a procedura di dissoluzione totale in muffola a microonde, la soluzione ottenuta è stata poi diluita una prima volta per portarla ad una concentrazione in massa compatibile con il valore massimo di sali disciolti tollerato (1mg/ml) per l'effettuazione della misura. Una seconda diluizione si è resa poi necessaria per ridurre ulteriormente l'acidità del campione ottenuto dalla dissoluzione e nel contempo poter effettuare la misura in un intervallo di corretta operatività dello spettrometro di massa al fine di limitare l'effetto matrice.

5.2. Strumentazione utilizzata e modalità di misura

Per la determinazione della concentrazione di U-238 e U-235 è stato utilizzato uno spettrometro di massa a plasma induttivamente accoppiate (ICP-MS) modello Agilent 7700E. Nel caso specifico esso è stato tarato nell'intervallo di concentrazione in massa da 1 ppt a 100 ppt di U-238. In tale configurazione e con le diluizioni operate, i valori effettivi dei limiti di rivelazione (DL) sono risultati rispettivamente pari a $5,8 \times 10^{-6}$ Bq/g_{campione} per U-238 e a $6,0 \times 10^{-6}$ Bq/g_{campione} per U-235. Tali valori risultano del tutto idonei per gli scopi della caratterizzazione stessa, tenuto conto che per quanto riguarda l'U-238 il DL risulta comunque inferiore di 5 ordini di grandezza rispetto al valore del livello di allontanamento normalizzato LAN₂₃₈ (pari a $4,87 \times 10^{-1}$ Bq/g_{campione})

Per ogni campione il valor medio delle 5 repliche (spazzate) effettuate automaticamente dallo strumento è stato considerato pari al risultato di attività mentre l'incertezza associata è stata valutata dalla composizione in quadratura dello scarto tipo campionario del dato di conteggio ottenuto con tali repliche e delle incertezze associate rispettivamente alla curva di taratura, alla pesatura del campione e alle sue diluizioni.

5.3. Risultati delle misure

In Allegato 1 sono disponibili per tutti i 20 campioni di tubazione i referti di misura ove sono riportati i risultati delle misure di concentrazione di U-238 e U-235 ottenuti mediante ICP-MS ed espressi in termini di concentrazione in attività, $C_{A,U238}$ e $C_{A,U235}$, per conversione

del risultato di concentrazione in massa attraverso le attività specifiche dei 2 radioisotopi (si veda Tabella 1 del *Piano di caratterizzazione* [1]).

Le misure in ICP-MS, includendo prelievo dei tasselli e loro pretrattamento, sono state effettuate dal 3 Marzo 2020 al 10 Marzo 2020, procedendo prima alle misure degli N_{pre} campioni selezionati per la precaratterizzazione e proseguendo con gli N campioni di caratterizzazione.

5.4. Verifica della condizione di “gruppo omogeneo” per la condotta

Per la verifica delle condizioni di gruppo omogeneo sono stati sottoposti a misura con ICP-MS, per la determinazione della concentrazione di U-238 e U-235, $N_{pre} = 7$ campioni di precaratterizzazione individuati per estrazione a caso fra i 20 prelevati. Gli esiti di tali misurazioni sono presentati in Tabella 2 ove, oltre ai dati singoli di concentrazione in attività ($C_{A,U235}$ e $C_{A,U238}$) e di incertezza associata ($u(C_{A,U235})$ e $u(C_{A,U238})$), espressa sia in termini assoluti che percentuali, sono altresì riportati i dati statistici essenziali per la valutazione di omogeneità del gruppo:

- media aritmetica,
- scarto tipo,
- media geometrica,
- deviazione standard geometrica (DSG),
- valore massimo,
- valore minimo


Tabella 2 : Esiti delle misure di precaratterizzazione per la matrice “condotta”

Codice campione	$C_{A,U235}$ (Bq/g)	$u(C_{A,U235})^*$ (Bq/g)	$u(C_{A,U235})^*$ (%)	$C_{A,U238}$ (Bq/g)	$u(C_{A,U238})^*$ (Bq/g)	$u(C_{A,U238})^*$ (%)	Rapporto U-238/U-235
B22	1,76E-05	2,8E-06	16%	4,27E-04	2,6E-05	6,1%	24,2
D7	1,28E-04	1,2E-05	9,3%	2,67E-03	1,5E-04	5,5%	20,8
E20	2,81E-05	5,3E-06	19%	5,54E-04	2,8E-05	5,1%	19,7
G9	1,99E-05	2,6E-06	13%	3,94E-04	2,1E-05	5,3%	19,8
G20	1,67E-05	3,5E-06	21%	4,20E-04	2,4E-05	5,6%	25,2
H25	1,09E-05	1,3E-06	12%	2,43E-04	1,5E-05	6,2%	22,2
L8	1,19E-05	1,9E-06	16%	2,52E-04	1,5E-05	6,1%	21,1
Media arit.	3,59E-05		15%	7,09E-04		5,7%	21,9
Scarto tipo	4,55E-05			8,72E-04			2,1
Media geo.	2,29E-05			4,86E-04			
DSG	2,30			2,24			
Val. max	1,28E-04			2,67E-03			
Val. min.	1,09E-05			2,43E-04			

*incertezza espressa con fattore di copertura $k=1$

Dall'analisi dei risultati di Tabella 2 si osserva che:

- i valori di concentrazione in attività di U-235 sono compresi fra $1,1 \times 10^{-5}$ e 13×10^{-5} Bq/g, cioè da 1,8 a 22 volte il valore del rispettivo DL ($6,0 \mu\text{Bq/g}$);
- i valori di concentrazione in attività di U-238 sono compresi fra $2,4 \times 10^{-4}$ e 27×10^{-4} Bq/g, cioè da 41 a 466 volte il valore del rispettivo DL ($5,8 \mu\text{Bq/g}$);

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. di 9 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	-----------------

- l'incertezza percentuale associata alle concentrazioni misurate di U-235 si attesta fra il 9% ed il 21% con un valore medio pari al 15%, dato compatibile con i valori di concentrazione presente, a seguito della diluizione, nella soluzione effettivamente sottoposta a misura;
- l'incertezza percentuale associata alle concentrazioni misurate di U-238 è compresa fra il 5,1% ed il 6,2% con un valore medio pari al 5,7%, tipico per misure centrali nell'intervallo di taratura della strumentazione utilizzata;
- i rapporti tra le concentrazioni in attività di U-238 e U-235 sono compresi tra 19,7 e 25,2, con un valore medio aritmetico pari a 21,9 ed uno scarto tipo campionario di 2,1, a fronte di un valore pari a 21,45 atteso per l'uranio naturale,

Sulla base di tali risultati di misura si può dunque affermare **che l'uranio presente nella condotta ha una composizione isotopica del tutto compatibile con quella dell'uranio naturale**

Considerando poi il valore, pari a **2,24**, della deviazione standard geometrica campionaria per gli $N_{pre} = 7$ valori di concentrazione in attività ottenuti per l'U-238, si ha:

$$DSG^2 = (2,24)^2 = 5,03$$

Essendo $DSG^2 < 6$, il test sulla *deviazione standard geometrica campionaria* proposto dalla IAEA [6] risulta pertanto soddisfatto.

Tale esito permette dunque di affermare che **per quanto attiene il contenuto di uranio naturale i campioni di condotta appartengono ad un unico gruppo omogeneo di materiali.**

5.5. Calcolo della numerosità N del campione di caratterizzazione

Il calcolo della numerosità del campione necessario per la verifica della allontanabilità del gruppo omogeneo "Condotta" viene effettuato sulla base delle indicazioni del Paragrafo 5.2 del Piano di Caratterizzazione [1] relativo ai materiali caratterizzati **in assenza di un campione bianco di riferimento** (equazioni da [9] a [12] del documento).

Procedendo su tale base, dalle risultanze delle misure per U-238 si ha:

$$\sigma_{camp} = 8,72 \times 10^{-4} \text{ Bq/g}_{camp} , \quad \sigma_{camp}^2 = 7,6 \times 10^{-7} (\text{Bq/g}_{camp})^2.$$

Per la valutazione dell'*incertezza di misura* (con fattore di copertura $k=1$), S_s , si è valutata l'incertezza media percentuale dei risultati di misura, pari al 5,7% per U-238 e la si è moltiplicata per il massimo valore misurato $2,67 \times 10^{-3} \text{ Bq/g}_{camp}$ ottenendo:

$$S_s = 1,52 \times 10^{-4} \text{ Bq/g}_{camp} , \quad S_s^2 = 2,3 \times 10^{-8} (\text{Bq/g}_{camp})^2.$$

da cui
$$\sigma = (\sigma_{camp}^2 + S_s^2)^{1/2} = 8,85 \times 10^{-4} \text{ Bq/g}_{camp}$$

ponendo quindi:
$$\Delta = LAN_{238} = 0,487 \text{ Bq/g}_{camp}$$

si ha pertanto:
$$\frac{\Delta}{\sigma} = \frac{LAN_{238}}{\sigma} = 550$$

Utilizzando tale valore di Δ/σ nelle equazioni [11] e [12] del Piano di caratterizzazione, si ottiene $P=1$, il che porta a concludere che **per la verifica delle condizioni di allontanabilità del gruppo omogeneo "condotta" il numero minimo di campioni N da sottoporre a misurazione è pari a 13.**

6. CARATTERIZZAZIONE DELLA CONDOTTA

Per la caratterizzazione della condotta le misure ICP-MS per la determinazione delle concentrazioni di U-238 e U235 sono state estese a tutti i 20 campioni prelevati, non limitando quindi l'indagine al numero minimo di campioni $N = 13$ identificato in precedenza come necessario per la verifica di allontanabilità dell'intero gruppo omogeneo.

Gli esiti di tali misure sono presentati in Tabella 3 ove si riportano i dati singoli di concentrazione in attività ($C_{A,U235}$ e $C_{A,U238}$), di incertezza associata ($u(C_{A,U235})$ e $u(C_{A,U238})$), espressa sia in termini assoluti che percentuali, i valori del rapporto in attività fra U-238 e U-235, nonché media aritmetica, valore massimo e valore minimo per ciascuna serie di dati.


Tabella 3: Esiti delle misure di caratterizzazione per il gruppo omogeneo "condotta"

Codice campione	$C_{A,U235}$ (Bq/g)	$u(C_{A,U235})^*$ (Bq/g)	$u(C_{A,U235})^*$ (%)	$C_{A,U238}$ (Bq/g)	$u(C_{A,U238})^*$ (Bq/g)	$u(C_{A,U238})^*$ (%)	Rapporto U-238/U-235
A4	2,16E-04	2,4E-05	11%	4,78E-03	2,9E-04	6,0%	22,2
A22	1,38E-03	1,0E-04	7,0%	2,64E-02	1,2E-03	4,5%	19,2
B3	2,57E-05	4,6E-06	18%	5,27E-04	2,6E-05	5,0%	20,5
B22	1,76E-05	2,8E-06	16%	4,27E-04	2,6E-05	6,1%	24,2
C4	2,62E-05	3,7E-06	14%	4,86E-04	2,3E-05	4,8%	18,6
C27	2,46E-05	5,2E-06	21%	5,02E-04	2,6E-05	5,2%	20,4
D7	1,28E-04	1,2E-05	9,3%	2,67E-03	1,5E-04	5,5%	20,8
D24	2,92E-05	5,0E-06	17%	6,28E-04	4,0E-05	6,3%	21,5
E14	1,29E-05	2,1E-06	16%	2,64E-04	1,3E-05	4,8%	20,5
E20	2,81E-05	5,3E-06	19%	5,54E-04	2,8E-05	5,1%	19,7
F5	1,65E-05	2,0E-06	12%	3,35E-04	2,0E-05	6,0%	20,3
F19	1,70E-05	1,9E-06	11%	3,63E-04	2,0E-05	5,6%	21,3
G9	1,99E-05	2,6E-06	13%	3,94E-04	2,1E-05	5,3%	19,8
G20	1,67E-05	3,5E-06	21%	4,20E-04	2,4E-05	5,6%	25,2
H10	2,23E-05	3,3E-06	15%	4,69E-04	3,0E-05	6,3%	21,1
H25	1,09E-05	1,3E-06	12%	2,43E-04	1,5E-05	6,2%	22,2
I6	1,54E-05	2,8E-06	18%	3,14E-04	1,9E-05	5,9%	20,3
I22	1,72E-04	3,6E-05	21%	3,31E-03	1,8E-04	5,5%	19,2
L8	1,19E-05	1,9E-06	16%	2,52E-04	1,5E-05	6,1%	21,1
L29	1,33E-04	1,9E-05	14%	2,61E-03	1,7E-04	6,3	19,6
Media arit.	1,16E-04	1,2E-05	15%	2,30E-03	1,2E-04	5,6%	20,9
Val. max	1,38E-03	1,0E-04	21%	2,64E-02	1,2E-03	6,3%	25,2
Val. min.	1,09E-05	1,3E-06	7,0%	2,43E-04	1,3E-05	4,5%	18,6

*incertezza espressa con fattore di copertura $k=1$

Dall'analisi dei risultati presentati in Tabella 3 si osserva che:

- I risultati di concentrazione di U-235 presentano un valore medio aritmetico pari a 0,116 mBq/g con una incertezza di misura media pari al 15%.
- I risultati di concentrazione di U-238 presentano un valore medio aritmetico di 2,30 mBq/g con una incertezza di misura media pari al 5,6%.
- il valore medio dei rapporti tra le concentrazioni in attività di U-238 e di U-235 è pari a 20,9 con valori compresi tra 18,6 a 25,2; confermando che in tutti i campioni la composizione isotopica dell'Uranio è compatibile da quella dell'uranio naturale.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 11	di 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------	----------

7. PRE-CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO

I 20 campioni previsti per il terreno in esame sono stati collezionati dal 17/12/2019 al 18/12/2019 mentre quelli di bianco dal 11/12/2019 al 12/12/2019.

7.1. Modalità di prelievo e trattamento dei campioni

Tutti i campioni sono stati prelevati e preparati secondo la procedura prevista nel paragrafo 6.2 del Piano di caratterizzazione [1]. In particolare la delimitazione del terreno mediante dima è stata effettuata a valle dell'asportazione della condotta dopo aver contrassegnato con paletto la posizione originale a terra del punto centrale di ciascun troncone da sottoporre ad indagine. La miscelazione del campione di terreno raccolto con le due dime adiacenti è stata effettuata in campo, così come la sua suddivisione in due aliquote da 2 L da riporre nelle bottiglie da laboratorio. Anche in questo caso sono stati realizzati 2 campioni per ogni tratta in corrispondenza ai campionamenti effettuati per la condotta.

In modo analogo sono stati realizzati i 10 campioni di "bianco" miscelando lo strato di terreno estratto con carotaggio compreso tra 1,2 m e 1,7 m di profondità e realizzando, per successiva suddivisione, due campioni da 3 L.

Per ogni posizione del terreno in esame e del terreno "bianco" sono stati pertanto prodotti e contrassegnati due campioni, uno per l'analisi e uno conservato per eventuali necessità o richieste aggiuntive, come previsto nel piano di caratterizzazione.


Come esposto in dettaglio nel paragrafo 7.3 del *Piano di caratterizzazione* [1], la procedura di preparazione dei campioni è consistita in: eliminazione dei frammenti grossolani, essiccazione, frantumazione, setacciatura, omogeneizzazione, introduzione in becker di Marinelli a tenuta di radon (da 1000 mL o da 500 mL), sigillatura del becker con colla cianoacrilica, attesa di almeno 20 gg per il conseguimento dell'equilibrio in attività tra Ra-226, Rn-222 emesso e sua progenie fino al Pb-210.

7.2. Strumentazione utilizzata e modalità di misura

Sono state utilizzate 3 diverse catene spettrometriche di cui una dotata di *rivelatore HPGe tipo n* con efficienza relativa del 43% e due dotate di *rivelatore tipo p "extended range"* con efficienza relativa rispettivamente pari al 25% e al 43%.

Le misurazioni in spettrometria gamma ad alta risoluzione sono state eseguite in geometria Becker di Marinelli in pozzetto di piombo a basso fondo con conteggi di durata pari a 60000s o 80000s rispettivamente nei casi di efficienza 43% e 25%.

La taratura in efficienza dei sistemi spettrometrici è stata effettuata mediante una matrice liquida tracciata con soluzione multipicco ad attività nota, avente incertezza intrinseca nelle diverse emissioni gamma compresa tra il 4% e il 6%.

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. di 12 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------------

Tutte le analisi spettrali sono state eseguite applicando il metodo di Sima [7] per la correzione di sottostime o sovrastime indotte dall'effetto di auto-assorbimento nel campione^a.

I valori dei limiti di rivelazione (DL) valutati nelle effettive condizioni di misura sono risultati per U-238 e U-235 rispettivamente pari a 6,2 Bq/kg_{campione} e a 0,51 Bq/kg_{campione}. Tali valori sono peraltro sovrapponibili a quanto riportato in Tabella 4 del Piano di caratterizzazione.

Il valore del limite di rivelazione per U-238 risulta quasi 80 volte inferiore al LAN₂₃₈ (pari a 487 Bq/kg_{campione}) e garantisce quindi ampiamente l'idoneità della metodica utilizzata per gli scopi di caratterizzazione della matrice in esame.

7.3. Risultati delle misure

In Allegato 2 e 3 rispettivamente per le misure del terreno in esame e per il terreno "bianco", sono riportati tutti i referti di misura ove il dato di concentrazione di U-238 e U-235 è sempre espresso in termini di attività (Bq/kg) in campione a peso costante (peso secco)

Le misure in spettrometria gamma, includendo la preparazione dei campioni, sono state effettuate dal 13/12/2019 al 13/3/2020, partendo dai campioni di bianco, in quanto primi raccolti, proseguendo con gli N_{pre} campioni utilizzati per la pre-caratterizzazione per concludere con gli N campioni di caratterizzazione.

7.4. Verifica della condizione di "gruppo omogeneo" per il terreno

Come nel caso della condotta, per la verifica delle condizioni di gruppo omogeneo sono stati individuati N_{pre}= 7 campioni di precaratterizzazione per estrazione casuale fra i 20 prelevati e sottoposti a misura con spettrometria gamma ad alta risoluzione per la determinazione della concentrazione di U-238 e U235.

Gli esiti di tali misurazioni sono presentati in Tabella 4 ove, oltre ai dati singoli di concentrazione in attività (C_{A,U235} e C_{A,U238}), di incertezza associata (u(C_{A,U235}) e u(C_{A,U238})), espressa sia in termini assoluti che percentuali, sono altresì riportati i dati statistici essenziali per la valutazione di omogeneità del gruppo:

- media aritmetica,
- scarto tipo,
- media geometrica,
- deviazione standard geometrica(DSG),
- valore massimo
- valore minimo.

^a rispettivamente dovute a riduzione o aumento dell'efficienza reale di conteggio rispetto a quella di riferimento a seguito della diversa composizione e densità fra i materiali costituenti la specifica matrice in esame e lo standard di calibrazione

Tabella 4: Esiti delle misure di precaratterizzazione per la matrice "terreno sotto-condotta"

Codice campione	$C_{A,U235}$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U235})^*$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U235})^*$ (%)	$C_{A,U238}$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U238})^*$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U238})^*$ (%)	Rapporto U-238/U-235
B22	1,28E+00	7,4E-02	5,8%	2,41E+01	2,8E+00	12%	18,8
C27	1,99E+00	1,5E-01	7,5%	4,39E+01	3,1E+00	7,1%	22,0
D24	1,13E+00	6,4E-02	5,7%	2,36E+01	3,5E+00	15%	20,9
F5	1,09E+00	6,3E-02	5,6%	2,36E+01	2,8E+00	12%	21,6
F19	7,90E-01	5,3E-02	6,7%	1,80E+01	3,2E+00	18%	22,8
G20	1,28E+00	7,7E-02	6,0%	2,45E+01	3,2E+00	13%	19,1
I6	1,14E+00	7,7E-02	6,6%	2,54E+01	3,1E+00	12%	22,2
Media arit.	1,24E+00		6,3%	2,64E+01		13%	21,1
Scarto tipo	3,68E-01			8,17E+00			1,6
Media geo.	1,20E+00			2,53E+01			
DSG	1,32			1,31			
Val. max	1,99E+00			4,39E+01			
Val. min.	7,90E-01			1,80E+01			

*incertezza espressa con fattore di copertura $k=1$

Dall'analisi dei risultati di Tabella 4 si osserva in particolare che:

- i valori di concentrazione in attività di U-235 sono compresi fra 0,79 a 1,99 Bq/kg, cioè da 1,6 a 4,0 volte il valore del rispettivo DL (0,5 Bq/kg), con valor medio pari a 1,24 Bq/kg, mentre l'incertezza percentuale associata è compresa fra il 5,7% e il 7,5% con valore medio pari al 6,3%
- i valori di concentrazione in attività di U-238 sono compresi fra 18,0 e 43,9 Bq/kg cioè da 3,0 a 7,3 volte il valore del rispettivo DL (6,0 Bq/kg), con valor medio pari a 26,1 Bq/kg, mentre l'incertezza percentuale associata è compresa fra il 7,1% e il 18% con un valore medio pari al 13%,
- i valori dei rapporti tra le concentrazioni in attività di U-238 e U-235, sono compresi tra 18,8 e 22,8, con un valore medio aritmetico di 21,1, a fronte di un valore pari a 21,45 atteso per l'uranio naturale.


Sulla base di tali risultati si può dunque affermare **che l'uranio presente nel terreno sottostante la condotta ha una composizione isotopica del tutto compatibile con quella dell'uranio naturale**

Considerando dunque il valore pari a **1,31** della deviazione standard geometrica campionaria per gli $N_{pre} = 7$ valori di concentrazione in attività ottenuti per l'U-238, si ha:

$$DSG^2 = (1,31)^2 = 1,71$$

Essendo $DSG^2 < 6$, il test sulla *deviazione standard geometrica campionaria* proposto dalla IAEA [6], risulta pertanto soddisfatto.

Tale esito permette quindi di affermare che **per quanto attiene il contenuto di uranio naturale i campioni di terreno sottostante la condotta appartengono ad un unico gruppo omogeneo di materiali.**

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. di 14 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------------

7.5. Calcolo della numerosità N del campione di caratterizzazione

Il calcolo della numerosità N del campione necessario (di cui N/2 per il terreno di indagine e N/2 per il terreno di “bianco”) per la verifica della allontanabilità di tutto il gruppo omogeneo “terreno sotto-condotta” viene effettuato sulla base delle indicazioni di Paragrafo 5.2 del *Piano di Caratterizzazione*, per quanto attiene ai gruppi omogenei **caratterizzati rispetto a un campione di riferimento “bianco”** (equazioni da [5] a [8] del documento).

Dagli esiti delle misure per U-238 si ha:

$$\sigma_{camp} = 8,17 \text{ Bq/kg}_{camp}, \quad \sigma_{camp}^2 = 66,76 \text{ (Bq/kg}_{camp})^2.$$

Per la valutazione dell'*incertezza di misura* (intesa come fattore di copertura $k=1$), S_s , si è operato in analogia a quanto riportato per il gruppo omogeneo della condotta. Si è valutata l'incertezza media percentuale dei risultati di misura, pari al 12,7% per U-238 e la si è moltiplicata per il massimo valore misurato 43,9 Bq/kg_{camp}. Da ciò si ottiene:

$$S_s = 5,56 \text{ Bq/kg}_{camp}, \quad S_s^2 = 30,87 \text{ (Bq/kg}_{camp})^2.$$

da cui $\sigma = (\sigma_{camp}^2 + S_s^2)^{1/2} = 9,88 \text{ Bq/kg}_{camp}$.

Ponendo quindi $\Delta = LAN_{238}/2 = 487/2 = 244 \text{ Bq/kg}_{camp}$

si ha pertanto: $\frac{\Delta}{\sigma} = \frac{LAN_{238}}{2 \cdot \sigma} = 24,6$

Utilizzando tale valore di Δ/σ nelle equazioni [7] e [8] del Piano di caratterizzazione, si ottiene $P=1$, il che porta a concludere che

il numero minimo di campioni complessivi N da sottoporre a misura per la verifica delle condizioni di allontanabilità del gruppo omogeneo “terreno sotto-condotta” è pari a 18, di cui N/2= 9 del terreno in esame e N/2=9 del terreno “bianco”.

8. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO

In Tabella 5 vengono riportati i risultati delle misure di spettrometria gamma ad alta risoluzione effettuate su tutti i 20 campioni di terreno sottostante la condotta prelevati per l'indagine. Il numero di campioni sottoposti a misura è dunque superiore al valore minimo $N/2 = 9$ identificato in precedenza come necessario per la verifica di allontanabilità dell'intero gruppo omogeneo.

Come specificato nel *Piano di caratterizzazione* [1] la scelta di campionare il solo terreno sottostante la condotta, invece che tutto quello ad essa circostante, è stata valutata come la più conservativa in relazione alla sola potenziale via di contaminazione della matrice (fessurazione della tubatura).

La presentazione dei risultati è la stessa adottata per la caratterizzazione della condotta. Le incertezze di misura per ogni campione sono espresse con fattore di copertura $k=1$. Anche in questo caso viene riportato, per ogni campione, il rapporto tra i risultati della concentrazione in attività dell'U-238 e del U-235 ($C_{A,U235}$ e $C_{A,U238}$), mentre nella parte sottostante della tabella sono indicati valor medio (media aritmetica), valore massimo e valore minimo per ogni set di dati.

Tabella 5: Esiti delle misure di caratterizzazione per il gruppo omogeneo "terreno sotto-condotta"

Codice campione	$C_{A,U235}$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U235})^*$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U235})^*$ (%)	$C_{A,U238}$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U238})^*$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U238})^*$ (%)	Rapporto U-238/U-235
A4	1,01E+00	6,8E-02	6,7%	1,84E+01	2,1E+00	12%	18,3
A22	1,08E+00	8,9E-02	8,2%	2,09E+01	1,9E+00	8,9%	19,4
B3	1,06E+00	8,6E-02	8,2%	2,15E+01	2,3E+00	11%	20,3
B22	1,28E+00	7,4E-02	5,8%	2,41E+01	2,8E+00	12%	18,8
C4	1,97E+00	1,2E-01	6,3%	4,46E+01	5,2E+00	12%	22,6
C27	1,99E+00	1,5E-01	7,5%	4,39E+01	3,1E+00	7,1%	22,0
D7	1,76E+00	1,4E-01	7,9%	3,47E+01	4,2E+00	12%	19,7
D24	1,13E+00	6,4E-02	5,7%	2,36E+01	3,5E+00	15%	20,9
E14	2,10E+00	1,5E-01	7,4%	4,10E+01	5,1E+00	12%	19,5
E20	1,44E+00	9,8E-02	6,8%	2,87E+01	3,7E+00	13%	20,0
F5	1,09E+00	6,3E-02	5,7%	2,36E+01	2,8E+00	12%	21,6
F19	7,90E-01	5,3E-02	6,7%	1,80E+01	3,2E+00	18%	22,8
G9	1,02E+00	6,9E-02	6,8%	2,21E+01	2,5E+00	11%	21,7
G20	1,28E+00	7,7E-02	6,0%	2,45E+01	3,2E+00	13%	19,1
H10	1,13E+00	7,6E-02	6,7%	2,28E+01	2,6E+00	12%	20,1
H25	8,86E-01	5,2E-02	5,8%	1,77E+01	3,1E+00	17%	20,0
I6	1,14E+00	7,7E-02	6,7%	2,54E+01	3,1E+00	12%	22,2
I22	9,55E-01	5,5E-02	5,8%	1,91E+01	3,5E+00	18%	20,0
L8	9,12E-01	5,2E-02	5,7%	1,84E+01	3,2E+00	17%	20,2
L29	1,46E+00	9,5E-02	6,5%	2,87E+01	3,0E+00	11%	19,7
Media arit.	1,27E+00	8,6E-02	6,7%	2,61E+01	3,2E+00	13%	20,4
Val. max	2,10E+00	1,5E-01	8,2%	4,46E+01	5,2E+00	18%	22,8
Val. min.	7,90 E-01	5,2E-02	5,7%	1,77E+01	1,9E+00	7,1%	18,3

*incertezza espressa con fattore di copertura $k=1$

Dall'analisi dei risultati presentati in Tabella 5 si rileva che:

- i risultati di concentrazione di U-235 presentano un valore medio aritmetico di 1,27 Bq/kg con una incertezza di misura media pari al 6,7%;
- i risultati di concentrazione di U-238 presentano un valore medio aritmetico di 26,1 Bq/kg con una incertezza di misura media pari al 13%;
- il valore massimo misurato è relativo al campione C4 e vale **44,6** Bq/kg;
- il valore medio dei rapporti tra le concentrazioni in attività di U-238 e di U-235, è pari a 20,4, con valori compresi tra 18,3 e 22,8, confermando che in tutti i campioni prelevati la composizione isotopica dell'Uranio è compatibile con quella dell'uranio naturale.

In modo analogo in Tabella 6 vengono presentati tutti i risultati di misura dei 10 campioni del terreno "bianco". Il numero di campioni prelevati è superiore al valore minimo $N/2 = 9$ identificato in precedenza come necessario per la verifica di allontanabilità dell'intero gruppo omogeneo del terreno in esame.

Tabella 6: Esiti delle misure di caratterizzazione per il "terreno bianco"

Codice campione	$C_{A,U235}$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U235})^*$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U235})^*$ (%)	$C_{A,U238}$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U238})^*$ (Bq/kg)	$u(C_{A,U238})^*$ (%)	Rapporto U-238/U-235
PB1A	9,83E-01	8,2E-02	8,4%	1,87E+01	2,1E+00	11%	19,0
PB2	8,46E-01	7,6E-02	9,0%	1,52E+01	2,6E+00	17%	18,0
PB3A	6,10E-01	6,6E-02	11%	1,12E+01	1,2E+00	11%	18,4
PB4	7,79E-01	9,0E-02	12%	1,82E+01	1,3E+00	7,0%	23,4
PB5	7,97E-01	6,1E-02	7,6%	1,83E+01	3,0E+00	16%	23,0
PB6	7,00E-01	7,5E-02	8,6%	1,56E+01	2,4E+00	16%	22,3
PB7	6,97E-01	6,5E-02	9,4%	1,37E+01	1,8E+00	13%	19,7
PB8	1,27E+00	1,0E-01	7,4%	2,74E+01	3,2E+00	12%	21,6
PB9	1,02E+00	8,8E-02	8,6%	1,90E+01	2,2E+00	11%	18,6
PB10	6,40E-01	6,7E-02	10%	1,36E+01	1,3E+00	9,6%	21,3
Media arit.	8,34E-01	7,5E-02	9,1%	1,71E+01	2,1E+00	13%	20,5
Val. max	1,27E+00	1,0E-01	12%	2,74E+01	3,2E+00	17%	23,4
Val. min.	6,10E-01	6,0E-02	7,4%	1,12E+01	1,3E+00	7,0%	18,0

*incertezza espressa con fattore di copertura $k=1$

Dall'analisi dei risultati presentati in Tabella 6 per il "terreno bianco" si osserva in particolare che:

- le concentrazioni di attività di U-235 misurate hanno valore medio di 0,83 Bq/kg con una incertezza di misura media del 9,2%;
- le concentrazioni di attività di U-238 misurate hanno valore medio di 17,1 Bq/kg con una incertezza di misura del 12%;
- il valore minimo misurato, relativo al campione PB3A, è pari a **11,2** Bq/kg;
- il valore medio dei rapporti tra le concentrazioni in attività di U-238 e di U-235, è pari a 20,5 con valori compresi tra 18,0 e 23,4, confermando che in tutti i campioni prelevati la composizione isotopica dell'Uranio è compatibile, come atteso, con quella dell'uranio naturale (21,45)

9. VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI ALLONTANABILITÀ DELLA CONDOTTA

Sulla base di quanto prescritto da ISIN [4], la sola condizione richiesta per l'allontanabilità dell'intero gruppo omogeneo è che la concentrazione in attività di U-238 ($C_{A,U238}$) sia minore del Livello di allontanamento normalizzato per tutti i campioni (vedasi Tabella 7). In formula:

$$C_{A,U238} < LAN_{238} = 0,487 \text{ Bq/g}_{\text{campione}} \quad \text{per tutti i campioni}$$

Tabella 7: Verifica delle condizioni di allontanabilità per i gruppi omogenei per i quali non è previsto un "bianco": plastica della condotta

Risultato delle N misure	Conclusioni	Allontanamento senza vincoli	Azione
Tutte le misure di concentrazione in di U-238 (in Bq/kg _{campione}) risultano inferiori al valore di LAN ₂₃₈ per il gruppo omogeneo in esame.	Il gruppo omogeneo in indagine soddisfa il criterio di allontanamento	SI	Il gruppo omogeneo (condotta) può essere allontanato senza vincoli di natura radiologica. Il materiale è disponibile per i prelievi per le analisi chimiche convenzionali e/o classificazione come rifiuto speciale.

Di seguito, in Tabella 8, si riportano i risultati di misura della concentrazione in attività per l'U-238 ($C_{A,U238}$) ed i relativi esiti delle verifiche effettuate su tutti i campioni prelevati e misurati per il gruppo omogeneo "condotta".

Tabella 8: Esiti delle verifiche delle condizioni di allontanabilità per tutti i campioni di condotta prelevati

Sigla campione	$C_{A,U238}$ (Bq/g)	LAN ₂₃₈ (Bq/g)	Esito della verifica	Sigla campione	$C_{A,U238}$ (Bq/g)	LAN ₂₃₈ (Bq/g)	Esito della verifica
A4	0,00478	0,487	Allontanabile	F5	0,00033	0,487	Allontanabile
A22	0,02637	0,487	Allontanabile	F19	0,00036	0,487	Allontanabile
B3	0,00053	0,487	Allontanabile	G9	0,00039	0,487	Allontanabile
B22	0,00043	0,487	Allontanabile	G20	0,00042	0,487	Allontanabile
C4	0,00049	0,487	Allontanabile	H10	0,00047	0,487	Allontanabile
C27	0,00050	0,487	Allontanabile	H25	0,00024	0,487	Allontanabile
D7	0,00267	0,487	Allontanabile	I6	0,00031	0,487	Allontanabile
D24	0,00063	0,487	Allontanabile	I22	0,00331	0,487	Allontanabile
E14	0,00026	0,487	Allontanabile	L8	0,00025	0,487	Allontanabile
E20	0,00055	0,487	Allontanabile	L29	0,00261	0,487	Allontanabile

Essendo verificata la condizione di allontanabilità per ogni campione prelevato, si conclude che **la condizione di allontanabilità/riutilizzabilità senza vincoli di natura radiologica, per la matrice "condotta" risulta soddisfatta.**

10. VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI ALLONTANABILITÀ DEL TERRENO

Il terreno è stato campionato nelle sue componenti “terreno in esame” e “terreno bianco” con un numero di campioni rispettivamente pari a $N_{\text{terreno}} = 20$ e $N_{\text{bianco}} = 10$, superiori al numero minimo di campioni necessari. Per la verifica delle condizioni di allontanabilità sono stati quindi utilizzate le misure su tutti i campioni disponibili del terreno in esame e del “bianco”.

La condizione indicata dalla lettera ISIN [4] per l’allontanabilità del terreno è che la differenza tra il valore massimo di concentrazione in attività di U-238 misurato nel gruppo omogeneo costituito dal terreno circostante la condotta ($C_{A,U238,T}$), ed il corrispondente valore minimo misurato nel “bianco” ($C_{A,U238,B}$) sia inferiore al livello di allontanamento normalizzato (LAN_{238}), pari a 487 Bq/kg (vedasi in Tabella 9).

Tabella 9: Verifica delle condizioni per l’allontanabilità per il terreno

Risultato delle misure	Conclusioni	Disponibilità del terreno senza vincoli	Azione
La differenza tra il valore massimo di concentrazione di U-238 (in Bq/kg _{campione}) misurato nel gruppo omogeneo in esame e il valore minimo di concentrazione di U-238 misurato nel “bianco” è inferiore a LAN_{238} .	Il gruppo omogeneo in indagine soddisfa il criterio di allontanamento	SI	Il gruppo omogeneo (terreno) può essere allontanato senza vincoli di natura radiologica. Il materiale è disponibile per i prelievi per le analisi chimiche convenzionali.

In formula:

$$\left[\max_{i=1,\dots,20} (C_{A,U238,T,i}) - \min_{j=1,\dots,10} (C_{A,U238,B,j}) \right] < LAN_{238}$$

ove :

- ($C_{A,U238,T,i}$) è la concentrazione in attività di U-238 (in Bq/kg) nella misura i-ma del gruppo omogeneo del terreno circostante la condotta (T);

- ($C_{A,U238,B,j}$) è la concentrazione in attività di U-238 (in Bq/kg) nella misura j-ma del campione di terreno “bianco” (B)


Sostituendo i valori numerici del massimo e del minimo indicati nell’equazione precedente con i valori identificati in Tabella 5 e in Tabella 6 si ha:

$$\max_{i=1,\dots,20} (C_{A,U238,T,i}) = 44,6 \text{ Bq/kg} \qquad \min_{j=1,\dots,10} (C_{A,U238,B,j}) = 11,2 \text{ Bq/kg}$$

da cui

$$\max_{i=1,\dots,20} (C_{A,U238,T,i}) - \min_{j=1,\dots,10} (C_{A,U238,B,j}) = 33,4 \text{ Bq/kg} < 487 \text{ Bq/kg} (= LAN_{238})$$

Ciò permette di concludere che **la condizione di allontanabilità/riutilizzabilità senza vincoli di natura radiologica per la matrice “terreno” circostante la condotta risulta soddisfatta.**

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. di 19 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------------

11. CONCLUSIONI

Nel presente rapporto:


- si è dimostrata, con verifica statistica, l'appartenenza dei campioni dei materiali da allontanare/rilasciare a specifici gruppi omogenei;
- si è calcolata per i diversi gruppi omogenei la numerosità minima rappresentativa dei campioni da sottoporre a caratterizzazione necessaria per la verifica delle condizioni di allontanabilità/rilasciabilità;
- si sono presentati i risultati delle misure di spettrometria di massa accoppiata induttivamente al plasma (ICP-MS) e spettrometria gamma ad alta risoluzione per i due gruppi omogenei in esame, assieme ai relativi referti negli allegati al presente rapporto.

I test di verifica :

- su tutte le misure singole di U-238 per il gruppo omogeneo dei materiali plastici della condotta
- sulla differenza tra il valore massimo del gruppo omogeneo del terreno circostante la condotta ed il valore minimo del campione di terreno "bianco",


hanno entrambi fornito esito **positivo**, cioè i valori risultano inferiori al livello di allontanamento normalizzato all'U-238.

Sulla base delle verifiche effettuate si conclude pertanto che **i due gruppi omogenei oggetto del presente rapporto, condotta e terreno ad essa circostante, possono essere allontanati/riutilizzati senza vincoli di natura radiologica e sono disponibili per i prelievi per le analisi chimiche convenzionali.**

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 20	di 21
---	-----------------------------	--------------	-----------	---------------	------------	----------

12. RIFERIMENTI

1. *Piano di Caratterizzazione radiologica delle parti residue in area ENEA dell'impianto CO.NU-Magnox e criteri di allontanamento dei materiali – Fase 2*, documento IRP-P000-015, 26/3/2019
2. ISPRA – Centro Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione - *Intervento di rimozione del serbatoio e relativa condotta ex impianto CO.NU. MAGNOX presso il Centro Ricerche ENEA della Trisaia*, Prot. generale Nr. 0029087 del 23/04/2018
3. *Piano di Caratterizzazione radiologica delle parti residue in area ENEA dell'impianto CO.NU Magnox – Fase 1*, Documento IRP-P000-010, 14/3/2018
4. ISIN – Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione – *Trasmissione piano di caratterizzazione per rimozione condotta ex impianto Magnox in AREA ENEA*, Prot. generale Nr. 02606 del 08/05/2019
5. ENEA – CR ENEA TRISAIA *Piano Operativo – Fase 2 – Rimozione della condotta interrata dell'impianto dismesso CO.NU MAGNOX e caratterizzazione dei materiali – ENEA/2020/25961/ISER-TRI* del 09/05/2019
6. *Determination and Use of Scaling Factors for Waste Characterization in Nuclear Power Plants* IAEA Nuclear Energy Series - Report No. NW-T-1.18, IAEA Vienna 2009, pag. 89.
7. O. Sima, *Photon attenuation for samples in Marinelli beaker geometry: an analytical computation*. Health Physics, 62(5):445-449, 1992

	Istituto di Radioprotezione	IRP-P000-017	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 21	di 21
---	-----------------------------	--------------	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

13. ALLEGATO: REFERTI DELLE MISURE