

**SITO DI INTERESSE NAZIONALE DI TITO**  
**Area "ex Liquichimica" di Tito Scalo (PZ)**  
**PIANO DI CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA**  
**inerente il bacino fosfogessi**

**COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE:**  
Arch. Gerardo Marcello Soldo

**PROGETTAZIONE ESECUTIVA:**  
Progettista ed Esperto Qualificato  
Ing. Maurizio Palagonia

**A**

**OGGETTO:** Relazione Tecnica Generale

**DATA:** 25/01/2016

**REVISIONE:** 01

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti: **ATOM**

**Ing. Maurizio Palagonia** (capogruppo) - Via Belgio n.4 - 92019 Sciacca (AG). PEC: maurizio.palagonia@ingpec.eu

**Dott. Biagio Favarò** (mandante) - Via Leonardo Da Vinci n.111 - 90145 Palermo (PA). PEC: biagio.favaro@epap.sicurezzapostale.it

**Ing. Matteo Accardi-ABGroup snc** (mandante) - Via Giuseppe Licata n.311 - 92019 Sciacca (AG).PEC: abgroup@pec.it

**Ing. Mariateresa Prinzivalli-ABGroup snc** - P.zza Giovanni XXIII n.1 - 92010 Caltabellotta (AG).PEC: mariateresa.prinzivalli@ingpec.eu

**SPAZIO PER I VISTI:**

## SOMMARIO

0 - INTRODUZIONE.....	3
0.1 <b>PREMESSA</b> .....	4
0.2 <b>INTRODUZIONE</b> .....	5
0.3 <b>OBIETTIVI</b> .....	6
I - DESCRIZIONE DEL SITO .....	7
1.1 <b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b> .....	8
1.2 <b>INQUADRAMENTO DELL'AREA</b> .....	9
1.3 <b>ATTIVITÀ PRODUTTIVA SVOLTA SUL SITO</b> .....	10
1.4 <b>STATO RADIOLOGICO DEL SITO</b> .....	12
II – CRITERI E SCELTE PROGETTUALI .....	13
2.0 <b>OBIETTIVI DELLA CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA</b> .....	14
2.1 <b>STRATEGIA PER LA CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DELLA DISCARICA FOSFOGESSI</b> .....	14
2.1.1 <b>INFORMAZIONI E DATI TECNICI SCIENTIFICI SULL'AREA</b> .....	14
2.1.2 <b>CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE SULL'INQUINAMENTO DEL SUOLO E DELLE ACQUE NELL'AREA</b> .....	17
2.2 <b>DEFINIZIONE DEI CAMPIONI DA PRELEVARE PER CIASCUNA MATRICE AMBIENTALE</b> .....	19
2.3 <b>METODOLOGIA DI MISURA DEI RADIONUCLIDI DI INTERESSE</b> .....	24
2.3.1 <b>INDIVIDUAZIONE VETTORE RADIONUCLIDI</b> .....	24
2.3.2 <b>CONSIDERAZIONI DI NATURA RADIOLOGICA</b> .....	25
2.3.3 <b>CONSIDERAZIONI SUI METODI DI MISURA DELLA RADIOATTIVITÀ NATURALE</b> .....	26
2.3.4 <b>TECNICHE DI MISURA RADIONUCLIDI</b> .....	29
III - DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	31
3.0 <b>PREMESSA</b> .....	32
3.1 <b>INDAGINE RADIOMETRICA PRELIMINARE E MONITORAGGIO RADIOLOGICO</b> .....	32
3.2 <b>INDAGINI INDIRETTE</b> .....	34
3.3 <b>ALLESTIMENTO CANTIERE</b> .....	36
3.4 <b>PISTE DI CANTIERE E ATTRAVERSAMENTI</b> .....	37
3.5 <b>PRELIEVO DEI CAMPIONI</b> .....	38
IV - ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI, ANALISI ED INTERPRETAZIONE .....	39
4.1 <b>PREMESSA</b> .....	40
4.2 <b>ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI</b> .....	40
4.3 <b>INCERTEZZA DELLA MISURA ED ANALISI DI CONFORMITÀ</b> .....	41
4.4 <b>ANALISI ED INTERPRETAZIONE DEI DATI</b> .....	42
V – MISURE DI SICUREZZA E GESTIONE DEI RIFIUTI/RESIDUI.....	45
5.1 <b>MISURE DI SICUREZZA</b> .....	46

<b>5.2</b>	<b>INDICAZIONI DI RADIOPROTEZIONE .....</b>	<b>47</b>
<b>5.3</b>	<b>GESTIONE DEI RIFIUTI .....</b>	<b>52</b>
<b>VI -</b>	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>54</b>

# SEZIONE 0

---

## 0 - INTRODUZIONE

## 0.1 PREMESSA

Il presente progetto esecutivo, redatto dal Raggruppamento Temporaneo di Professionisti all'uopo costituito da:

- Ing. Maurizio PALAGONIA: Capogruppo, Progettista, Ingegnere Nucleare (Ordine degli Ingegneri della Provincia di Agrigento - n. 1020) ed Esperto Qualificato in Radioprotezione (III grado - n. 447);
- Dr. Biagio FAVARÒ: Mandante, Geologo (Ordine dei Geologi della Regione Sicilia - n. 21);
- Ing. Matteo ACCARDI: Mandante, Coordinatore della Sicurezza in Fase di Progettazione, Ingegnere Edile (Ordine degli Ingegneri della Provincia di Agrigento - n. 1172);
- Ing. Maria Teresa PRINZIVALLI: Giovane Professionista, Ingegnere (Ordine degli Ingegneri della Provincia di Agrigento - n. 2046 sez. A);

su specifico incarico conferito dal Consorzio per lo Sviluppo Industriale della Provincia di Potenza - Prot. 0000039 del 07 gennaio 2016, si riferisce al **"Piano di caratterizzazione radiologica inerente il bacino fosfogessi nell'area ex Liquichimica di Tito (PZ)"** - CIG 6489899214.

Il Consorzio per lo Sviluppo Industriale della Provincia di Potenza con Delibera della Giunta Regionale di Basilicata N. 436 del 01.03.2005 è stato individuato quale Ente attuatore degli interventi di messa in sicurezza e bonifica dell'area pubblica "ex Liquichimica" nell'ambito dei quali è da comprendersi la progettazione del Piano di Caratterizzazione Radiologica.

Il progetto esecutivo del piano di caratterizzazione radiologica della discarica fosfogessi, ubicata nel sito "ex Liquichimica" del Comune di Tito Scalo (PZ), è stato elaborato tenendo conto anche di quanto indicato nel documento redatto dalla Commissione Tecnica Prefettizia, istituita con decreto n. 14972 del 27 marzo 2014 del Prefetto di Potenza), intitolato *"Valutazione finale dei piani di caratterizzazione radiologica e di monitoraggio ambientale predisposti dal Consorzio ASI"*, redatto in data 27 marzo 2015.

Infine, si precisa che il presente progetto si riferisce, così come da incarico, alla caratterizzazione radiologica dell'area e, pertanto, non prende in esame - se non per aspetti necessari relativi alla sicurezza dei lavoratori e alla gestione dei residui/rifiuti - la caratterizzazione chimica dei materiali stoccati nella discarica.

## 0.2 INTRODUZIONE

L'area industriale di Tito (PZ) rientra all'interno del perimetro del SIN (Sito di Interesse Nazionale) istituito con D.M. 18 settembre 2001 n. 468. Il Consorzio per lo Sviluppo Industriale della Provincia di Potenza (di seguito ASI) con Delibera della Giunta Regionale di Basilicata n. 436 del 01 marzo 2005 è stato individuato quale Ente attuatore degli interventi di messa in sicurezza e bonifica dell'area pubblica "ex Liquichimica" nell'ambito dei quali è da comprendersi la realizzazione del Piano di Caratterizzazione, redatto dal Dipartimento Ambiente e Territorio - Ufficio Prevenzione e Controllo Ambientale - della Regione Basilicata ed approvato in sede di Conferenza di Servizi presso il Ministero dell'Ambiente in data 9.03.2004 con integrazioni successive prodotte nel mese di ottobre 2004.

Tra gli interventi previsti dall'Accordo di Programma Quadro per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e di bonifica delle acque di falda e dei suoli nei Siti di Interesse Nazionale di Tito e Val Basento (Delibera CIPE n. 87/2012) ci sono quelli finalizzati alla messa in sicurezza permanente del bacino fosfogessi nell'area pubblica "ex Liquichimica" del SIN di Tito.

Tali interventi prevedono, come attività preliminare, la realizzazione del piano di caratterizzazione radiologica dell'area come predisposto dal Consorzio ASI di Potenza tenendo conto delle osservazioni della commissione tecnica nominata con decreto prefettizio n. 14972 in data 27/03/2014 dalla Prefettura Ufficio Territoriale del Governo di Potenza, Dipartimento Protezione Civile.

Nell'ottobre 2014 è stata stipulata una convenzione tra ISPRA e la Regione Basilicata avente come oggetto la collaborazione in campo tecnico scientifico su tutti gli interventi previsti dall'Accordo di Programma.

Nell'ambito della Convenzione, la Regione Basilicata, con nota Prot. 171733-IPA2 del 29 ottobre 2014, ha richiesto il supporto di ISPRA al fine di trattare adeguatamente la problematica connessa alla determinazione del fondo ambientale relativamente a suolo e acque di falda prevista dal Piano di caratterizzazione radiologica.

Nell'area denominata "discarica fosfogessi" a causa dalla presenza di radionuclidi di origine naturale (**N**aturally **O**ccurring **R**adioactive **M**aterials - **NORM**), derivanti dalle attività industriali pregresse di produzione fertilizzanti, sussistono problemi di esposizione alle radiazioni ionizzanti. Le materie prime utilizzate per la produzione di fertilizzanti fosfatici (fosforiti) contengono radionuclidi naturali in concentrazioni significative e variabili in funzione del sito di estrazione. Le quantità di fosfogessi conferite in discarica hanno comportato l'accumulo di residui contenenti concentrazioni significative di radionuclidi naturali (in particolare di quelli appartenenti alle famiglie naturali dell'Uranio e del Torio) che hanno determinato la necessità di interventi di radioprotezione.

L'attività svolta rientra tra quelle di cui al Capo III-bis del D.Lgs. 230/95 e s.m.i. (*Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni*) che non sono più in atto, e pertanto, ricade nel campo di applicazione dell'art. 126-bis del D.Lgs. 230/95 e s.m.i. "*Interventi nelle esposizioni prolungate*" che al comma 1. recita:

*Nelle situazioni che comportino un'esposizione prolungata dovuta agli effetti di un'emergenza radiologica oppure di una pratica non più in atto o di un'attività lavorativa, di cui al Capo III-bis, che non sia più in atto, le autorità competenti per gli interventi ai sensi della legge 25 febbraio 1992, n. 225, adottano i provvedimenti opportuni, tenendo conto dei principi generali di cui all'articolo 115-bis, delle necessità e del rischio di esposizione, e, in particolare quelli concernenti:*

- a) la delimitazione dell'area interessata;*
- b) l'istituzione di un dispositivo di sorveglianza delle esposizioni;*
- c) l'attuazione di interventi adeguati, tenuto conto delle caratteristiche reali della situazione;*
- d) la regolamentazione dell'accesso ai terreni o agli edifici ubicati nell'area delimitata, o della loro utilizzazione.*

Infine, le campagne di indagine eseguite dall'Arpa Basilicata (ARPAB) e la sorveglianza fisica attuata dall'Esperto Qualificato incaricato dall'ASI di Potenza, hanno evidenziato la presenza di radionuclidi naturali nei campioni prelevati presso alcuni punti dell'area di discarica. In alcuni punti sono stati inoltre misurati livelli di esposizione significativamente superiori a quelli medi del fondo naturale caratteristico dell'area. Nella redazione del presente progetto si è tenuto conto dei risultati delle campagne di indagine pregresse.

### 0.3 OBIETTIVI

Il piano di caratterizzazione radiologica della discarica di fosfogessi dell'area "ex Liquichimica" di Tito Scalo (PZ), ha come obiettivo l'acquisizione di dati ed informazioni relativamente a:

- individuazione della concentrazione di radionuclidi naturali nei materiali presenti nel sottosuolo dell'area sottoposta ad indagine;
- individuazione della concentrazione di radionuclidi naturali nei materiali presenti nel sottosuolo e in altre aree di interesse, poste all'esterno dell'area indagata;
- verifica della compatibilità delle eventuali contaminazioni da radionuclidi naturali con i residui prodotti dalle attività lavorative già attive presso il sito;
- individuazione di eventuali rilasci di radionuclidi naturali in ambiente esterno all'area indagata;
- fornire informazioni utili per la stesura del progetto di bonifica dell'area.

In particolare, il progetto di caratterizzazione radiologica dell'area sarà uno strumento fondamentale, di indirizzo e supporto, per il processo decisionale in merito allo specifico intervento da mettere in atto sul sito che, sulla base di un'analisi comparativa tra le diverse soluzioni possibili, dovrà rispettare - tra l'altro - quanto prescritto dall'*art. 115-bis del D.Lgs. 230/95 e s.m.i. "Principi generali per gli interventi"* che recita:

*1. Ai fini delle decisioni in ordine all'eventuale attuazione ed all'entità di interventi in caso di emergenza radiologica, oppure in caso di esposizione prolungata dovuta agli effetti di un'emergenza radiologica o di una pratica che non sia più in atto devono essere rispettati i seguenti principi generali:*

- a) un intervento è attuato solo se la diminuzione del detrimento sanitario dovuto alle esposizioni a radiazioni ionizzanti è tale da giustificare i danni e i costi, inclusi quelli sociali, dell'intervento;*
- b) il tipo, l'ampiezza e la durata dell'intervento sono ottimizzati in modo che sia massimo il vantaggio della riduzione del detrimento sanitario, dopo aver dedotto il danno connesso con l'intervento;*
- c) alle operazioni svolte in caso di intervento non si applicano i limiti di dose di cui all'articolo 96, commi 1, lettera a), e 3, salvo quanto previsto nell'articolo 126-bis, in caso di esposizione prolungata;*
- d) i livelli di intervento in termini di dose, stabiliti ai sensi dell'articolo 115, comma 2, sono utilizzati ai fini della programmazione e dell'eventuale attuazione degli interventi; detti livelli non costituiscono limiti di dose.*

Inoltre, nell'ambito del processo decisionale, conseguente alla caratterizzazione radiologica dell'area, costituisce una guida e un riferimento indispensabile quanto indicato nella **RP 122 - Parte II "Practical use of the concepts of clearance and exemption - Part II, Application of concepts of exemption and clearance to natural radiation sources"**, che permette - sotto alcune precise condizioni - la gestione dei materiali contenenti NORM al di fuori del quadro normativo di radioprotezione (ex D.Lgs. 230/95 e s.m.i.).

# SEZIONE I

---

## I - DESCRIZIONE DEL SITO



## 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito oggetto del presente progetto si trova nel comparto occidentale della Basilicata, a circa 9 km ad Ovest di Potenza, ad una quota pari a circa 765 m s.l.m. Esso è localizzato a circa 4 km a Nord-Ovest dell'abitato di Tito (PZ), interamente nell'Area Industriale di Tito Scalo, ricadendo quindi all'interno del SIN individuato dalla Legge 9 Dicembre 1998, n. 426 e dal successivo Decreto del Ministro dell'Ambiente dell'8 Luglio 2002.

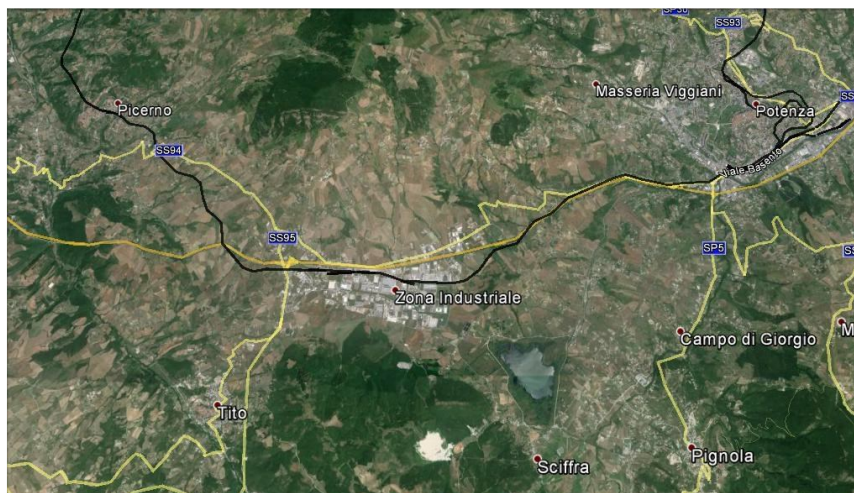


Figura 1 | Inquadramento territoriale

Sono inoltre presenti, ad una distanza di circa 6,4 km a Sud-Est del sito il Comune di Pignola mentre, il Comune di Picerno è ad una distanza di circa 7,4 km a Nord Ovest dell'area industriale.

L'area è caratterizzata da rilievi dolci che superano i 1400 m di altezza, propaggini delle Dolomiti Lucane: Monte Li Foi, Monte Li Foi di Picerno, Monte Paglia d'Orgio, Monte Piano, Crocetta, Il Ciglio e Serranetta.

La viabilità interna dell'area industriale di Tito Scalo si innesta sulla S.S. 407 Basentana, asse della rete stradale regionale collegata all'Autostrada A3, e sulla linea ferroviaria Potenza - Sicignano che scorre lungo il confine Nord del sito; infine, l'area Industriale si avvale dei servizi del Consorzio per lo Sviluppo Industriale della Provincia di Potenza (che ha sede nello stesso comprensorio), tra cui la raccolta dei reflui convogliati al depuratore di Potenza e la fornitura di acqua potabile e industriale. Il SIN (vedi Figura 2) ha una superficie di circa 52 ettari in considerazione delle aree restituite agli usi legittimi previsti dal Piano Regolatore Generale.

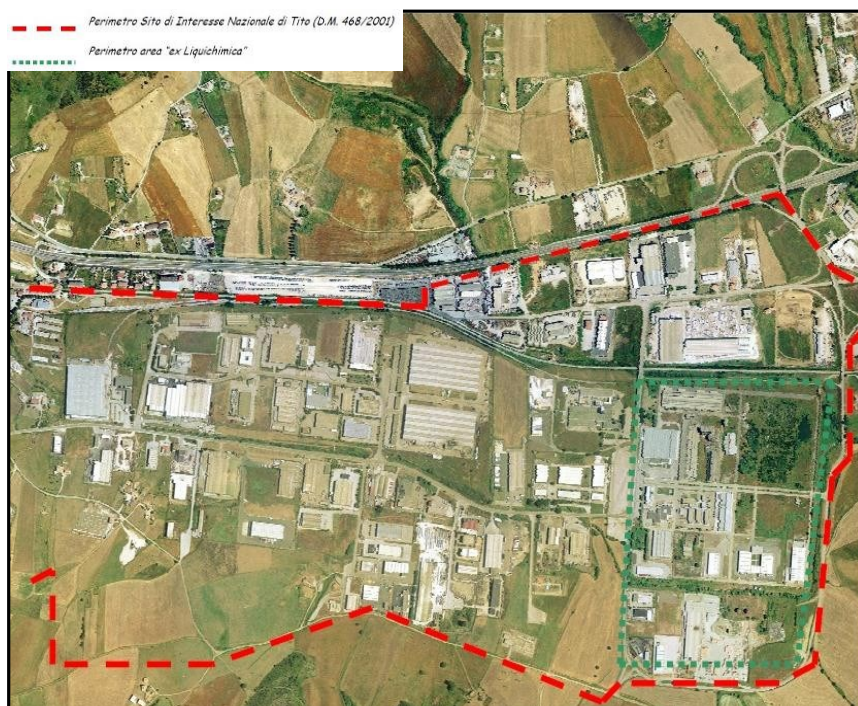


Figura 2 | Perimetrazione SIN Tito Scalo (PZ)

## 1.2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area denominata "discarica fosfogessi" è posizionata all'estremo orientale del SIN di Tito Scalo (PZ); essa si estende per una superficie di circa 7 ettari ed è caratterizzata dalla presenza di vegetazione più o meno spontanea di tipo arbustivo e alberato. È inoltre presente un piccolo laghetto di circa 2.500 m<sup>2</sup>, che solo in parte è approvvigionato da apporti meteorici diretti, dipendendo principalmente dal convogliamento dei deflussi superficiali e sotterranei nell'ambito del bacino che si apre sulla piana di Tito Scalo. Le sponde, costituite da terreni clastici prevalentemente di tipo limoso, sono ricoperte da vegetazione ripariale (tipicamente canne). All'interno dell'area è individuabile una seconda superficie, dell'estensione di circa 30.000 m<sup>2</sup> denominata "bacino fosfogessi" (vedi Figura 3), dove sono stati scaricati in vasche apposite i residui di lavorazione (fosfogessi), e dove sono state realizzate numerose trincee, disposte sia longitudinalmente che trasversalmente, per l'abbancamento di fanghi di depurazione.

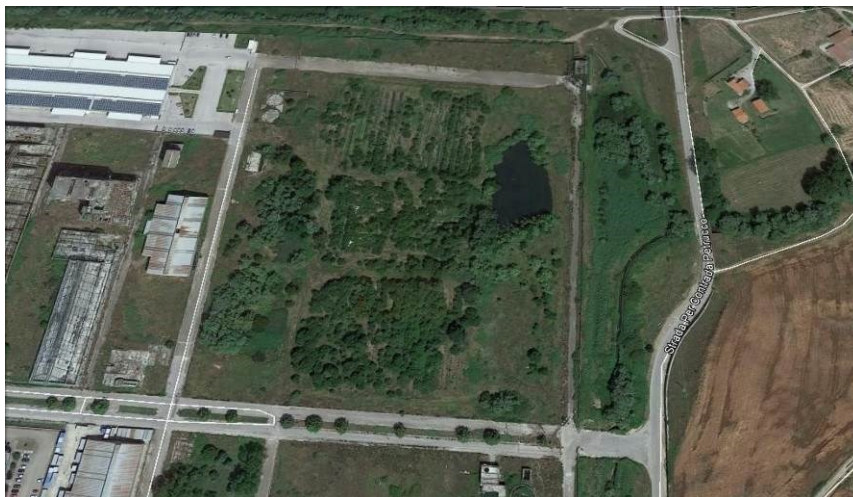


Figura 3 | Discarica fosfogessi

L'impianto originario è stato realizzato dalla Chimica Meridionale S.p.A. nell'anno 1969, la Liquichimica Meridionale S.p.A. è subentrata dal settembre 1976 e dal 31 marzo 1989, ed attualmente è di proprietà del Consorzio per lo Sviluppo Industriale della Provincia di Potenza. In tale periodo è cessata l'attività industriale a rischio. L'accesso all'area avviene da un unico ingresso posto nel vertice Nord - Ovest del perimetro dove è presente un'ampia fascia pavimentata della lunghezza di circa 220,0 m e della larghezza di circa 10 m. Una seconda area pavimentata, della lunghezza di circa 270 m e della larghezza di circa 4,5 m è presente lungo il perimetro orientale della discarica. L'intera area è recintata al fine di impedire l'accesso a personale non autorizzato. Ulteriori informazioni sono desumibili dagli elaborati grafici e dalla documentazione fotografica allegati (**Tavole 1 e 2**).

### 1.3 ATTIVITÀ PRODUTTIVA SVOLTA SUL SITO

Il Consorzio per lo Sviluppo Industriale della Provincia di Potenza ha fornito informazioni in merito al ciclo produttivo svolto negli anni passati presso il sito, che ha determinato l'insorgere di problemi di natura radioprotezionistica derivanti dalla presenza di radionuclidi di origine naturale (NORM).

La ricostruzione del ciclo produttivo è stata effettuata per confronto con altre realtà industriali analoghe in quanto non è stato possibile reperire idonea documentazione. Utilizzando le indicazioni relative agli impianti esistenti e le conoscenze del ciclo standard di produzione di fertilizzanti fosfatici, azotati e granulati misti, si è ricostruita la sequenza produttiva di seguito descritta.

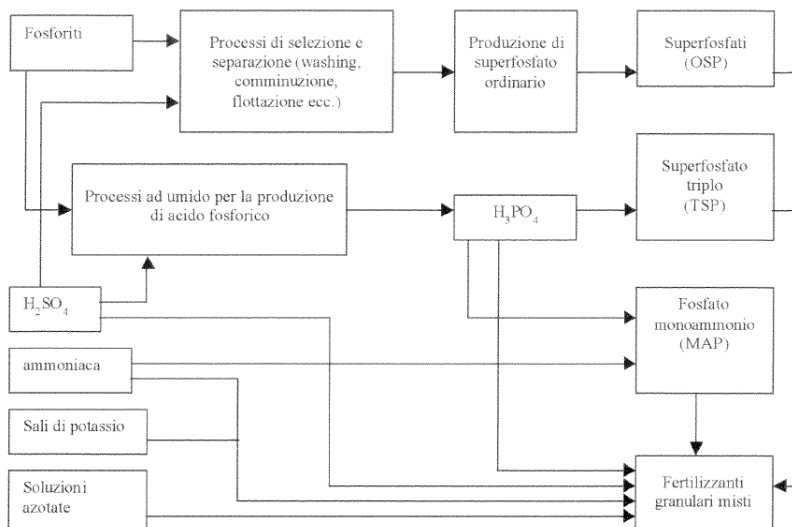
#### Produzione di fertilizzanti fosfatici

Il processo produttivo che aveva luogo sul sito era riconducibile alla produzione di fertilizzanti granulari fosfatici e complessi (principalmente il superfosfato o fosfato di calcio). Il ciclo produttivo era ripartito per la produzione di

- superfosfato in polvere
- fertilizzanti granulari.

Per la produzione del superfosfato era utilizzata come materia prima la fosforite. Probabilmente la fosforite, previa macinazione, era trattata con acido fluosilicico e acido solforico per solubilizzarne il contenuto in anidride fosforica. La miscela, ancora in reazione alla temperatura di 100°C, transitava dall'impastatrice dando origine ad un prodotto solido e trasportabile. Il superfosfato veniva lasciato essiccare e stagionare in un magazzino dedicato. A seguito della reazione fra acido solforico e fosforite si ottenevano fosfato di calcio monoidrato e gesso (residuo di produzione).

Lo schema seguente sintetizza i processi produttivi di tutti i fertilizzanti che utilizzavano come materia prima la fosforite.

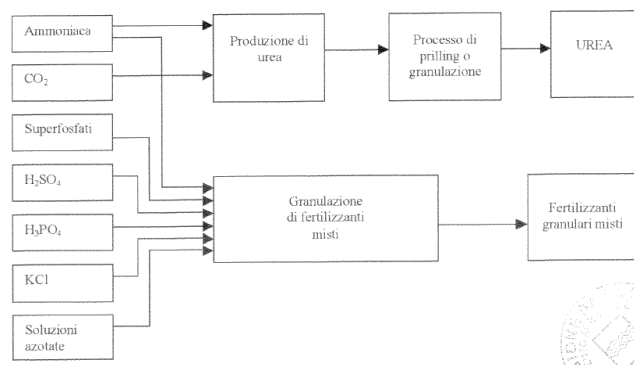


#### Tipologia delle sostanze utilizzate e movimentate nel sito

I processi produttivi che avevano luogo sul sito utilizzavano come materia prima la fosforite. Le fosforiti sono rocce sedimentarie derivanti dal deposito di organismi marini, di composizione mineralogica complessa, con un elevato tenore di fosforo e con presenza di metalli pesanti. Si presume che all'interno dello stabilimento entrasse fosforite pura.

#### Produzione di fertilizzanti azotati

La presenza di depositi per NH<sub>3</sub> e CaCO<sub>3</sub> ha indotto ad ipotizzare l'esistenza di una linea di produzione di fertilizzanti azotati, in particolare Urea. Lo schema seguente descrive i processi di produzione dei vari fertilizzanti azotati.



### Produzione di fertilizzanti granulati misti

La presenza di depositi per cloruri e solfati di Na, K e acido cloridrico, ha indotto ad ipotizzare l'esistenza di una linea di produzione di fertilizzanti granulati misti che utilizzava come materie prime i fertilizzanti descritti nei paragrafi precedenti. La fosforite, utilizzata come materia prima per la produzione di fertilizzanti fosfatici, contiene radionuclidi naturali appartenenti alle famiglie dell'Uranio e del Torio in varia concentrazione determinata dal sito di estrazione del minerale.



#### 1.4 STATO RADIOLOGICO DEL SITO

La discarica di fosfogessi dell'area "ex Liquichimica" del SIN di Tito Scalo (PZ) è sottoposta a sorveglianza delle esposizioni, in adempimento all'art. 126-bis comma 1. lett. b) del D.Lgs. 230/95 e s.m.i., ed è stata oggetto di numerose campagne radiometriche condotte del Centro Regionale Radioattività dell'ARPAB.

Si descrive qui di seguito lo stato radiologico attuale del sito, riassumendo i risultati più importanti delle misure radiometriche condotte negli anni; per i dettagli si rimanda ai diversi rapporti di misura redatti.

- livelli di esposizione esterna al perimetro della discarica: sono stati installati, lungo tutto il perimetro della discarica, dosimetri ambientali del tipo a TLD (misura integrata annuale / frequenza sostituzione dosimetri trimestrale) per la misura della dose ambientale gamma; i risultati hanno sempre mostrato valori non dissimili a quelli del fondo naturale (< **Dose Minima Rilevabile**: 20 microSv);
- livelli di esposizione esterna all'interno della discarica: sono state condotte numerose campagne di misura all'interno della discarica con strumentazione portatile ad alta sensibilità. Dall'analisi dei risultati delle misure (rateo di dose gamma a 1 m dal suolo) si possono trarre le seguenti informazioni:
  - il fondo ambientale della zona è di circa 70-100 nSv/h;
  - le aree presentano valori del rateo di dose ambientale abbastanza disomogenei;
  - i valori misurati sono sempre stati inferiori a 1000 nSv/h;
  - in alcune aree (vedi foto seguente) si sono comunque rilevati valori superiori al fondo naturale.



- rateo di dose gamma ambientale: 2 ÷ 3 volte fondo ambientale
- rateo di dose gamma ambientale: 3 ÷ 5 volte fondo ambientale

- analisi radiometriche del terreno: i risultati delle analisi in spettrometria gamma, condotte dall'ARPAB e dalla NUCLECO S.p.A. su alcuni campioni di terreno prelevati nei punti che presentavano anomalie radiometriche più marcate (punti in rosso), hanno mostrato la presenza in superficie (nei primi 50 cm) di fosfogessi con una concentrazione di Ra-226 (circa 400 e 2400 Bq/kg) superiore a quella misurata nei terreni dall'ARPA (inferiori a 100 Bq/kg).

Ulteriori e più approfonditi dati sono desumibili dai documenti ufficiali (vedi riferimenti).

# SEZIONE II

---

## II – CRITERI E SCELTE PROGETTUALI

## 2.0 OBIETTIVI DELLA CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA

La caratterizzazione radiometrica della discarica fosfogessi, ubicata all'interno dell'area "ex Liquichimica" del SIN di Tito Scalo (PZ), si pone l'obiettivo di verificare la presenza di radionuclidi naturali (in termini di concentrazione di radioattività e della relativa distribuzione nell'ambiente indagato) derivante dalle pregresse attività industriali, al fine di supportare il processo decisionale in merito alle eventuali successive attività da mettere in atto sul sito. A questo scopo vengono definite nel presente capitolo la strategia adottata, i metodi e le tecniche di misura da adottare, le procedure di campionamento, ecc..

A tale proposito si sottolinea la necessità di prevedere, nel caso di affidamento a struttura privata, opportuni interconfronti preliminari e controlli a campione da parte di un laboratorio di un Ente pubblico su un'aliquota (non inferiore al 10%) di analisi da eseguire in doppio.

Infine, si premette che il piano di caratterizzazione radiologica dell'area descritto nel capitolo si svilupperà in due fasi: una preliminare in cui verranno prelevati tutti i campioni ed analizzati una parte, utilizzando due diversi set di misura (uno molto "spinto" con elevata sensibilità ed uno di base), ed una seconda fase di approfondimento per i restanti campioni, effettuata solo se necessario, per integrare e completare la conoscenza dello stato radiologico del sito.

## 2.1 STRATEGIA PER LA CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DELLA DISCARICA FOSFOGESSI

Il procedimento adottato per la definizione del piano di caratterizzazione radiologica dell'area, in termini di scelta delle matrici ambientali da sottoporre ad indagine, numero e posizione dei punti di prelievo dei campioni, modalità di campionamento, ecc., si è basato su un'attenta ed approfondita analisi di tutte le informazioni e dati tecnici/scientifici riportati nei numerosi studi condotti negli anni, sull'area denominata "ex Liquichimica", ed in particolare sul bacino fosfogessi nonché, su alcune considerazioni di carattere idrogeologico sull'inquinamento del suolo e delle acque nell'area industriale di Tito (PZ).

### 2.1.1 INFORMAZIONI E DATI TECNICI SCIENTIFICI SULL'AREA

Si riportano qui di seguito i principali documenti esaminati, dai quali sono stati tratti informazioni e dati utilizzati per definire i criteri di scelta dei punti di sondaggio (numero, posizione, profondità, ecc..) nelle diverse matrici ambientali da analizzare (terreno, acqua di falda, acqua superficiale e limo del laghetto, vegetali) come più avanti spiegato, rimandando per ulteriori dettagli ai documenti stessi.

- ASI Potenza; Regione Basilicata; "Area ex Liquichimica - Relazione sullo stato di conservazione della vasca fosfogessi"; agosto 2009.
- Metapontum Agrobios; Regione Basilicata; "Rapporto relativo alla caratterizzazione di suolo, sottosuolo e acque di falda finalizzata agli interventi di bonifica della ex Liquichimica di Tito Scalo - Rapporto Finale"; gennaio 2009.
- A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; "Relazione N. R21/'12 del 16/01/2013: Controlli radiometrici presso ex Liquichimica - Zona Industriale Tito Scalo (PZ) - Area Fosfogessi - 1° Rapporto"; 2013.
- A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; "Relazione N. R11/'13 del 06/06/2013: Controlli radiometrici presso ex Liquichimica - Zona Industriale Tito Scalo (PZ) - Area Fosfogessi - 2° Rapporto"; 2013.
- A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; "Relazione N. R20/'13 del 18/10/2013: Controlli radiometrici presso ex Liquichimica - Zona Industriale Tito Scalo (PZ) - Area Fosfogessi - 3° Rapporto"; 2013.
- A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; "Relazione N. R24/2014 del 16/09/2014: Esito dei controlli radiometrici presso SIN di Tito Scalo, all'esterno dell'ex-stabilimento Liquichimica e in alcune aree interne"; 2014.
- A. Cassiano; "Scansione radiometrica dell'area discarica fosfogessi nel sito ex Liquichimica"; novembre 2014.
- NUCLECO S.p.A.; "Analisi spettrometriche gamma su n. 3 campioni di fosfogesso prelevati nella discarica dell'ex Liquichimica"; novembre 2014.
- ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia; "Sito ex Liquichimica di Tito Scalo (PZ) - Piano di caratterizzazione radiologica: Proposta per la determinazione dei valori di fondo radiologico nei terreni e nelle acque sotterranee"; novembre 2004.

I dati e le informazioni riportati nei suddetti documenti sono state utilizzati per costruire la maglia dei punti (numero e posizione), nei quali si dovranno prelevare i campioni di ciascuna matrice ambientale.

Si descrivono nel seguito i più importanti dati ed informazioni che hanno indirizzato la scelta della metodologia di caratterizzazione per il terreno (numero, posizione e profondità dei sondaggi, lunghezza dei segmenti, ecc..), per l'acqua di falda (numero e posizione dei punti di prelievo), ecc...

#### Dati ed informazioni reperiti dalla documentazione

- 1) **posizione, estensione e profondità** delle vasche fosfogessi: all'interno del bacino fosfogessi, sono state realizzate n. 3 vasche in cui sono stati abbancati i fosfogessi su un'area totale di circa 30.000 mq ed una profondità massima di circa 4 m. Inoltre, tra il 1987 e 1990 - su progetto redatto nel 1988 dalla SOPES s.r.l. di Roma, sono state aperte delle trincee all'interno delle quali sono stati depositati fanghi provenienti dall'impianto di depurazione di Potenza, per circa 12.000 mc; i fanghi sono stati depositati nelle trincee: 2,50 m (L) x (H) 1,80 m, preventivamente impermeabilizzate sul fondo, in più strati con interposto il materiale rinvenuto negli scavi.
- 2) **presenza e profondità** dei fosfogessi nel sottosuolo: l'attenta analisi dei risultati delle stratigrafie del sottosuolo (carote 15 m dal p.c.) riportate nello studio condotto dalla *Metapontum Agrobios*, ha permesso di definire con buona approssimazione sia il perimetro del bacino (costituito dalla congiunzione dei punti di sondaggio dove, da un "esame a vista" del materiale estratto, risulta la presenza di fosfogessi nel sottosuolo), sia un perimetro più esterno dove non si dovrebbero avere più fosfogessi; vedi figura seguente. Inoltre, dall'analisi delle suddette stratigrafie del sottosuolo e dalla ricostruzione di due profili litostratigrafici, vedi documento già citato, uno in direzione SW-NE e l'altro N-S, è stato possibile determinare con sufficiente approssimazione la profondità dei fosfogessi nel sottosuolo, che è compresa tra quella massima di circa 5 m (punti L6 e pL7) e la minima di circa 1 m (punti L5 e L9).



Foto | indicazione dei punti di sondaggio geognostico(giallo presenza fosfogessi, verde assenza)

- 3) **rilevi radiometrici**: da un'attenta analisi dei risultati delle diverse campagne di misura del rateo di dose gamma ambientale, condotte all'interno del bacino fosfogessi sia dall'ARPAB che dall'EQ dell'ASI di Potenza, e da un confronto con il valore del fondo naturale della zona, sono emerse alcune aree che presentano anomalie radiometriche (valori rilevati significativamente più alti del fondo naturale); tali aree - comprese tra i due contorni indicati nella figura di sopra - richiedono ulteriori approfondimenti (infitimento della griglia di sondaggio e/o della profondità);
- 4) **analisi radiometriche** (spettrometria gamma su campioni di terreno e acqua di falda): sono stati esaminati i risultati delle spettrometrie gamma condotte su n. 3 campioni di fosfogesso - prelevati in prossimità del punto L9 (vedi foto sopra) - effettuate dalla Nucleco S.p.A., che hanno mostrato la presenza di Ra-226 in concentrazioni significative (424 - 570 Bq/kg) nonché, i numerosi risultati delle spettrometrie gamma condotte su campioni di terreno, fosfogessi ed acqua di falda prelevati dall'ARPAB nel corso di diverse campagne di misura. L'analisi dei risultati delle misure condotte dall'ARPAB hanno evidenziato quanto segue:



- terreni: valori di concentrazione di Ra-226, nei punti che presentavano un'anomalia radiometrica, compresi tra 459 e 2461 Bq/kg, superiori a quella di terreni "indisturbati" ( $\leq 100$  Bq/kg);
  - acqua di falda: campioni prelevati nei pozzi piezometrici interni alla discarica o prossimi ad essa, con valori di concentrazione di Ra-226, compresi tra 8 e 11 Bq/l che, così come conclude l'ARPAB, *denotano l'immissione in falda di una parte dei radionuclidi dislocati nella discarica*; campioni prelevati nell'acqua di pozzo in una proprietà privata ad uso abitativo ubicata a valle della discarica, che, così come conclude l'ARPAB, *non hanno evidenziato significative anomalie radiometriche rispetto ai corrispondenti campioni di "bianco" contestualmente prelevati in un'area a monte della stessa discarica fosfogessi*.
- 5) **assetto idrogeologico dell'area:** dall'analisi dei documenti citati risulta che, alla scala del sito industriale, si può considerare un unico acquifero definito dalla sovrapposizione di corpi detritici a differente permeabilità; questi individuano una falda multistrato con circolazione idrica prevalente all'interno degli orizzonti a granulometria più grossolana. Inoltre, si è fatto riferimento alla ricostruzione della superficie piezometrica effettuata in uno studio condotto dall'Università della Basilicata (vedi foto seguente).

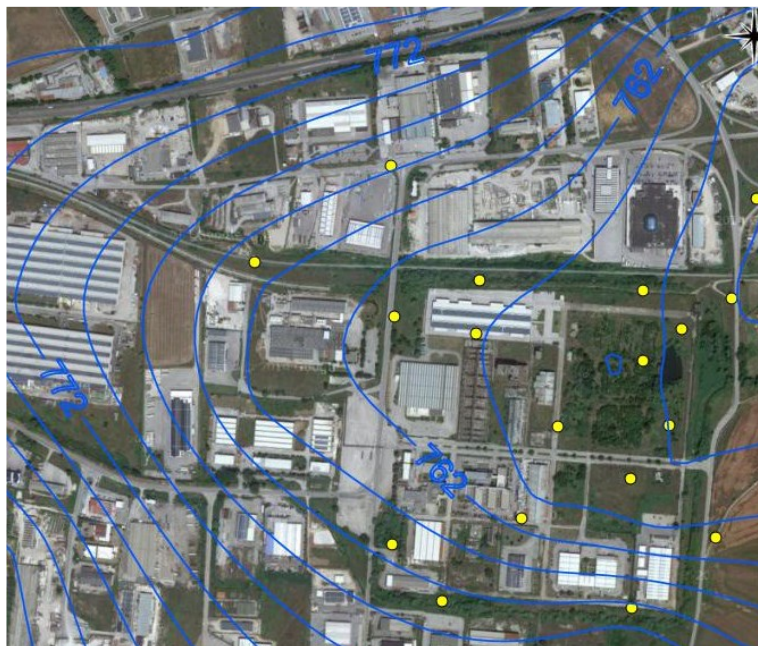


Foto | mappa interpretativa della superficie piezometrica (in giallo i piezometri)

- 6) **fondo radiologico nei terreni e nelle acque:** la valutazione del livello di inquinamento della discarica di fosfogessi non può essere condotta senza prendere come riferimento i valori radiologici di terreni ed acque di falda in aree circostanti alla discarica considerate indisturbate ("bianco") rispetto alla fonte di inquinamento. La scelta e determinazione del fondo naturale è un compito tutt'altro che semplice, nel caso in esame tale lavoro è già stato svolto da *ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia*, che nel documento specifico (vedi *referimenti*) ha descritto i criteri e la metodologia, nonché definito i punti in cui effettuare i prelievi dei campioni di terreno ed acqua di falda per definire i valori del fondo radiologico.

### 2.1.2 CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE SULL'INQUINAMENTO DEL SUOLO E DELLE ACQUE NELL'AREA

Nel presente paragrafo si descrivono alcune considerazioni di carattere geolitologico ed idrogeologico, in merito alle questioni qui di seguito indicate:

- disomogeneità della distribuzione della radioattività naturale nel suolo;
- profondità di campionamento da ottimizzare e possibilità di fenomeni di trasferimento della contaminazione oltre i 5 m di profondità;
- caratterizzazione dell'acqua del "laghetto".

Per quanto concerne la **distribuzione della radioattività naturale nel suolo** occorre tener presente la configurazione morfologica e la natura litologica dell'area ove è inserito lo stabilimento "ex Liquichimica" e la adiacente discarica di fosfogessi.

Si tratta di terreni culminanti nel rilievo di Monte Li Foi (q. 1354 m s.l.m.; circa 4 km a NNW dalla zona industriale), ove affiorano argilliti silicee e radiolariti, in alternanze con marne, calcilutiti, calcareniti e calciruditi (Trias sup. - Giura), dapprima rapidamente degradanti verso valle, ove vengono a contatto tettonico con la Fm. Corleto Perticara, qui prevalentemente marnosa.

L'attività degli esogeni e, in particolare, dei numerosi torrenti che solcano il versante, unitamente ad estesi movimenti franosi, riduce sensibilmente l'acclività delle aree a quota minore, che divengono, infine, pressoché pianeggianti presso la stazione di Tito e la contigua Zona Industriale in conseguenza degli apporti solidi dei torrenti denominati Fosso Calogno (terminante con ampia conoide di deiezione) e Fosso S. Aloja.

Tornando all'eterogeneità del fondo naturale, è noto (rilevazioni ARPAB) che i limi e i sedimenti fluviali della Valle del Basento presentano concentrazioni di Ra-226 comprese fra 6 e 15 Bq/kg, mentre per il Fiume Sinni i valori corrispondenti vanno da 10 a 20 Bq/kg, verosimilmente in rapporto alle diverse litologie locali, con ovvio incremento delle concentrazioni da monte verso valle, in relazione alla minore velocità dei deflussi idrici. A ciò si aggiunge l'eterogeneità dimensionale della granulometria nei diversi litotipi, che modifica sensibilmente da luogo a luogo la pervietà dei sedimenti, unitamente ad altre caratteristiche fisiche, quali, ad es., i fenomeni di adsorbimento tipici delle argille e, in minor misura, dei limi, per cui l'effetto di trasporto determinato dalla circolazione delle acque, sia in superficie che nel sottosuolo, implica una condizione di estrema variabilità.

Da ciò deriva l'esigenza di procedere a campionamenti sia del suolo che delle acque che non siano strettamente limitati all'area del bacino dei fosfogessi, ma consentano di effettuare confronti significativi, senza tuttavia eccedere nella densità dei punti di indagine a livello locale, che si presume possano dare indicazioni solo limitatamente tra loro differenti in rapporto alla natura del sottosuolo.

E' ovvio che il contenimento dei costi contrasta con l'accuratezza del dettaglio e che non è possibile aprioristicamente definire con certezza le scelte da effettuare per una corretta selezione in tal senso.

Tuttavia, considerato il fatto che i costi maggiori derivano di norma da alcune analisi specifiche, si potrà suddividere l'acquisizione di dati per i campioni d'acqua relativi al bianco in due fasi.

Nella prima fase si ritiene che si possa analizzare un solo campione da ciascun piezometro a canna doppia, alternando le analisi di campioni prelevati da canne di differente lunghezza tra punti consecutivi; nel caso si dovessero verificare differenze significative, si dovrà provvedere ad una fase di affinamento con analisi di acqua prelevata da entrambe le restanti canne dei piezometri.

Circa l'**ottimizzazione della profondità di campionamento**, si potrà ottenere mirando in primo luogo a definire la consistenza degli spessori di fosfogessi allo scopo di quantizzare - nei limiti del possibile, viste le vicissitudini attraversate dalla discarica - l'entità del materiale a più alto tasso di pericolosità nell'ambito locale, tenendo conto che i sondaggi sin qui eseguiti inducono ad identificare per tali depositi profondità che solo eccezionalmente superano i 5 m.

Per altro verso si ritiene che possa sussistere la possibilità di trasferimento della contaminazione in rapporto alla varia permeabilità dei sedimenti sui quali insistono i predetti inquinanti (vedi le sezioni ricavate dalle precedenti perforazioni), per cui la circolazione delle acque nel sottosuolo potrebbe estendere in misura sensibile l'area contaminata, il che andrebbe accertato - in una seconda fase di affinamento sulla base anche dei risultati preliminari - con qualche indagine spinta a maggior profondità e con alcune analisi eseguite su campioni di terreno prelevati a maggiore profondità.

A tal proposito si richiama quanto già acquisito dalle precedenti indagini circa la distribuzione dei solfati in prossimità del Torrente La Tora, ove si rileva un sensibile incremento della concentrazione di tali sostanze immediatamente a valle della discarica della “ex Liquichimica”. Qualora tali considerazioni venissero confermate dalle indagini integrative qui localizzate, comprendenti anche valutazioni di carattere radiometrico, occorrerebbe istituire un adeguato isolamento della matrice inquinante.

In altri termini divengono, in questo caso, di fondamentale importanza anche i carotaggi spinti sino a profondità dell’ordine dei 30-40 m previsti in progetto e le analisi delle acque prelevate dai piezometri a diversi livelli.

Per quanto concerne, infine, la **caratterizzazione dell’acqua del “laghetto”** si ritiene che la sua ipotizzata natura “meteorica” possa esser confermata a condizione di intendere tale termine in senso molto lato.

Infatti, va detto a chiare lettere che un apporto meteorico diretto non basterebbe in nessun caso a determinare accumuli idrici che siano superiori a qualche decina di centimetri.

L’apporto meteorico, piuttosto, va visto in funzione dell’alimentazione dei deflussi superficiali che formano i torrenti convergenti verso la spianata di cui detto precedentemente, attraversando, fra l’altro, le discariche esistenti a monte e costituendo una falda stagionale che permea i depositi clastici entro i quali si posizionano tanto il cosiddetto “laghetto” quanto la discarica dei fosfogessi.

## 2.2 DEFINIZIONE DEI CAMPIONI DA PRELEVARE PER CIASCUNA MATRICE AMBIENTALE

Lo studio di tutti i dati riportati nei documenti citati, alcuni di quali sopra riassunti, nonché le considerazioni idrogeologiche sopra svolte hanno condotto alla definizione della metodologia da adottare per la caratterizzazione radiologica dell'area mediante il prelievo e l'analisi di campioni su ciascuna delle matrici ambientali (terreno, acqua di falda, acqua superficiale e limo del laghetto, vegetali) della discarica.

Si riporta qui di seguito la descrizione e giustificazione delle scelte fatte per ciascuna matrice ambientale.

### **TERRENO**

Sono stati individuati **N. 51** punti di sondaggio del terreno secondo una griglia (quasi-regolare) e differenti profondità di campionamento; vedi *Tavola 5: planimetria generale ubicazione sondaggi e piezometri*.

A questi si aggiungono **N. 4** sondaggi per la determinazione del bianco.

Qui di seguito una giustificazione delle scelte fatte (posizioni, profondità ed estrazione dei campioni).

#### **Posizione dei punti di sondaggio**

##### perimetro della discarica:

- lato nord: n. 3 sondaggi (assenza di anomalie radiometriche e di fosfogessi nelle carote prelevate nelle indagini geognostiche);
- lato ovest: n. 6 sondaggi (alcuni più esterni - assenza di anomalie radiometriche e di fosfogessi - ed altri più interni in prossimità di qualche anomalia radiometrica o di carote con strati di fosfogessi);
- lato sud: n. 2 sondaggi (zona in prossimità della recinzione con assenza di anomalie radiometriche e di fosfogessi);
- lato est (esterno alla discarica): n. 3 sondaggi per verificare il trasporto di radionuclidi in direzione del torrente La Tora secondo la confluenza delle acque di falda;
- lato est (interno alla discarica): n. 7 sondaggi alcuni dei quali in prossimità del laghetto per verificare il trasporto di radionuclidi secondo la confluenza delle acque di falda.

##### centro della discarica:

- vasca nord fosfogessi: n. 12 sondaggi di cui n. 8 lungo i margini e n. 4 all'interno della vasca (presenza di fosfogessi nelle carote prelevate nelle indagini geognostiche);
- vasca sud fosfogessi: n. 12 sondaggi di cui n. 8 lungo i margini e n. 4 all'interno della vasca (presenza di fosfogessi nelle carote prelevate nelle indagini geognostiche);
- vasca centrale fosfogessi: n. 12 sondaggi di cui n. 8 lungo i margini (n. 6 dei quali in comune con le altre due vasche nord e sud) e n. 4 all'interno della vasca (presenza di fosfogessi nelle carote prelevate nelle indagini geognostiche).

#### **Profondità dei sondaggi**

Al fine di ottimizzare la profondità dei sondaggi, senza per questo rinunciare alla accuratezza delle indagini da eseguire, sono previste n. 3 quote differenti per i sondaggi secondo lo schema seguente:

##### sondaggi 3 m dal piano campagna:

- n. 12 sondaggi lungo il perimetro della discarica nei lati nord e sud (assenza di anomalie radiometriche e di fosfogessi nelle carote prelevate nelle indagini geognostiche).

##### sondaggi 5 m dal piano campagna:

- n. 9 sondaggi lato est, di cui n. 6 interni alla discarica e n. 3 esterni - al fine di indagare il trasporto di radionuclidi in profondità attraverso la falda ed in prossimità del laghetto;
- n. 17 sondaggi lungo il perimetro esterno del bacino fosfogessi dove, da quanto dedotto dalle indagini geognostiche, si ha la presenza di fosfogessi fino ad una profondità inferiore a 5 m; con tale profondità è possibile studiare fenomeni di trasporto in profondità nel sottosuolo.

##### sondaggi 7 m dal piano campagna:

- n. 13 sondaggi nella parte centrale di ciascuna delle n. 3 vasche del bacino fosfogessi dove, da quanto dedotto dalle indagini geognostiche, si ha la presenza di fosfogessi fino ad una profondità di circa 5 m; con tale profondità è possibile studiare fenomeni di trasporto in profondità nel sottosuolo.

### Estrazione dei campioni dalle carote

Al fine di ottimizzare le risorse, senza per questo rinunciare alla accuratezza della indagine da eseguire, è stata definita un'articolata procedura per la estrazione dei campioni da ciascun sondaggio. Si prevede, sulla base di un'analisi dei profili stratigrafici delle carote estratte nello studio geognostico condotto da *Metapontum Agrobios*, di potere estrarre mediamente un campione di materiale omogeneo - metodo della quartatura - da cui saranno poi prese n. 3 aliquote identiche: una da inviare al laboratorio per la misura, le altre a due a disposizione dell'ASI di Potenza e degli Organi di controllo per eventuali analisi, per ogni metro di carota. Infatti, dall'esame delle stratigrafie si hanno, nei primi 5 metri di carota, al più 5 differenti materiali. È stata, comunque, predisposta una procedura che descrive in modo preciso e nel dettaglio le modalità di estrazione dei campioni dai sondaggi (*Elaborato C.2 Metodiche di estrazione, conservazione e trasporto campioni di terreno*); qui di seguito si descrivono e giustificano le scelte progettuali più importanti.

#### Scelte progettuali metodologiche nella segmentazione delle carote: descrizione e giustificazione

La **prima** scelta progettuale metodologica riguarda il primo passo nell'esame a vista delle carote estratte, che serve ad identificare i differenti strati omogenei della carota e verificare la presenza di uno strato più o meno esteso di fosfogessi o materiale misto a fosfogessi; per ciascuno strato omogeneo deve essere estratto - ove possibile (**spessore minimo della fetta: 30 cm**) - un campione da inviare ad analisi radiometrica. Tale scelta è giustificata dal fatto che un materiale che "a vista" sembra omogeneo, si presume possa avere un comportamento medio nei confronti dei fosfogessi e/o materiali da essi rilasciati caratteristico del materiale stesso e - forse - differente da altri; inoltre, in questo modo risulterà più semplice l'analisi e restituzione dei dati.

La **seconda** scelta progettuale metodologica, tesa a verificare l'eventuale trasporto dei radionuclidi rilasciati dal fosfogesso nei materiali circostanti, prevede l'estrazione di campioni omogenei dai materiali immediatamente sovrastanti e sottostanti allo strato di fosfogesso, fino ad una distanza massima di 1 metro dalla discontinuità tra fosfogesso e materiale adiacente.

La **terza** scelta progettuale metodologica, al fine di ottimizzare quanto più possibile le risorse, prevede che per segmenti di materiale di lunghezza superiore ad 1 m vanno estratti più campioni solo se si tratta di fosfogessi o materiale misto a fosfogessi.

Inoltre, nel caso in cui, a causa dell'elevato grado di idratazione del terreno (presenza della falda), non fosse possibile recuperare i livelli più profondi, potrà essere prelevato un unico segmento del materiale disciolto, anche se questo risulta di lunghezza superiore a 1 m, fino al primo strato consistente.

Le suddette regole potranno subire variazioni in funzione della stratigrafia della carota osservata in situ.

Si ribadisce la necessità di procedere alle fasi di campionamento in presenza di un geologo e di personale competente ed esperto anche delle successive fasi di misura dei campioni e analisi dei dati.

**TABELLA RIEPILOGATIVA DEI SONDAGGI NEL TERRENO**

N.ro sondaggi	Profondità sondaggio (m)	N.ro campioni
12	3	36
26	5	130
13	7	91
<b>51</b>	-	<b>257</b>
<b>4</b> (bianco)	5	<b>20</b>

### Sondaggi aggiuntivi: fase di approfondimento

Da quanto fin qui esposto, il numero, la posizione e la profondità dei sondaggi dovrebbe garantire un'accurata caratterizzazione radiologica del terreno della discarica di fosfogessi. Tuttavia, si prevede sin da adesso, una seconda fase di approfondimento con l'esecuzione di ulteriori sondaggi e/o integrazione di quelli previsti, che potrebbe rendersi necessaria sulla base dei seguenti fatti:

- indagine radiometrica preliminare dell'area: condotta prima di iniziare le attività di cantiere, potrebbe evidenziare ulteriori punti con anomalie radiometriche; in questo caso si valuterà se aggiungere sondaggi o modificare la posizione di quelli previsti;
- sondaggio con presenza di fosfogessi in zone in cui non è previsto il rinvenimento: in questo caso andrà valutato quanti nuovi sondaggi dovranno essere effettuati;

- sondaggio con presenza di fosfogessi alla base della carota: in questo caso si procederà con il sondaggio fino ad una profondità tale da trovare la fine dello strato di fosfogesso a cui va aggiunto un altro metro per indagare l'eventuale trasporto dei radionuclidi;
- sondaggio con presenza di fosfogessi a meno di 1 m dalla base della carota: in questo caso si procederà con un altro metro di sondaggio.

Per tenere conto della possibile esecuzione di ulteriori sondaggi, si prevede in fase di computo metrico (vedi elaborato specifico) di effettuare complessivamente **300 m** di sondaggi nel terreno.

### ACQUA DI FALDA

La caratterizzazione radiologica della discarica fosfogessi prevede il prelievo e l'analisi radiometrica dell'acqua di falda, al fine di determinare i valori di contaminazione da radionuclidi naturali in tale matrice ambientale (acque profonde). Nello specifico saranno effettuati:

- campionamenti delle acque di falda da pozzi piezometrici ubicati all'interno della discarica ed a valle idrogeologico rispetto al bacino fosfogessi, per la determinazione della concentrazione di radionuclidi naturali nell'acqua di falda;
- campionamenti delle acque di falda da pozzi piezometrici ubicati a monte idrogeologico rispetto al bacino fosfogessi per la determinazione dei valori di fondo naturale (bianco) nell'acqua.

È stata predisposta una procedura che descrive in modo preciso e nel dettaglio le modalità di prelievo, trasporto e conservazione dei campioni di acqua (*Elaborato C.3 Metodiche di prelievo, trasporto e conservazione di campioni di acqua*); qui di seguito si descrivono e giustificano le scelte progettuali più importanti.

La caratterizzazione radiologica dell'acqua di falda sfrutterà la rete piezometrica esistente; come previsto dal documento "Proposta per la determinazione dei valori di fondo radiologico nei terreni e nelle acque sotterranee" redatto da ISPRA nel novembre 2014, di seguito vengono indicati i piezometri da utilizzare per la determinazione dei livelli di radionuclidi naturali:

- n. 16 piezometri per la determinazione del livello di contaminazione da radionuclidi naturali all'interno e in prossimità dell'area denominata "discarica fosfogessi" (vedi foto e tabella seguente).



Foto | punti prelievo acqua (piezometri)

Identificativo	Area	Coordinata EST	Coordinata NORD
pP1	ASI	561726	4495289
P(B,C)4	ASI	561212	4495135
pL4	ASI	561515	4495118
pO4	ASI	561678	4495103
pA6	ASI	561055	4495070
pD6	ASI	561206	4495037
p(M,N)5,6	ASI	561586	4495046
pL7	ASI	561515	4494986
pG9	ASI	561357	4494866
pM9	ASI	561563	4494867
pL11	ASI	561491	4494768
pF13	ASI	561290	4494696
pA13	ASI	561050	4494646
pO13	ASI	561649	4494660
pC16	ASI	561144	4494542
pL16	ASI	561493	4494529

Tabella | piezometri: codici e coordinate

Da ciascun piezometro (tipo a tubo aperto a doppia canna) fessurati a quote differenti dell'acquifero, saranno prelevati n. 2 campioni di acqua (**volume minimo 15 litri**) per complessivi **N. 32 campioni di acqua di falda** da sottoporre ad analisi radiometrica.

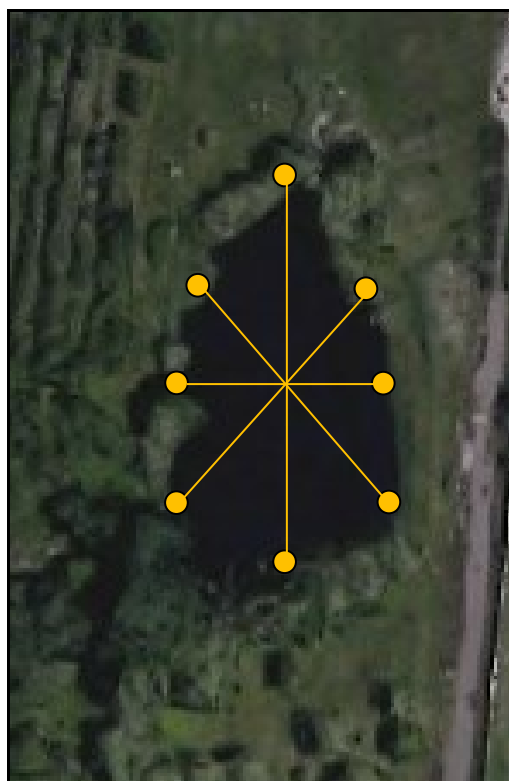
A questi si aggiungono n. 1 campione di acqua (volume minimo 15 litri) per ogni piezometro esistente della rete ARPAB (n. 15 in totale), individuato per la determinazione del bianco (vedi Tavola 1: Corografia) per complessivi **N. 15 campioni di acqua di falda** da sottoporre ad analisi radiometrica.

**TABELLA RIEPILOGATIVA DEI CAMPIONI DI ACQUA DI FALDA**

Matrice ambientale	Prelievo	N.ro campioni
Acqua di falda	16 piezometri	32
Acqua di falda (bianco)	15	15
<b>Totale campioni acqua di falda</b>		<b>47</b>

#### **LAGHETTO: ACQUA SUPERFICIALE E LIMO/SEDIMENTO**

Dalle informazioni raccolte e dalle considerazioni idrogeologiche, il piccolo laghetto ( $S = 2.500 \text{ mq}$ ) che si trova all'interno della discarica fosfogessi è costituito da acqua che solo in parte proviene dall'apporto stagionale di acque meteoriche mentre, così come spiegato nella *Relazione Geologica* (Elaborato B.), rappresenta un bacino di raccolta di acque superficiali che affiorano secondo il movimento naturale della falda. Il laghetto, in considerazione del fatto che si trova a valle idrogeologico del bacino di fosfogessi, costituisce un'importante matrice ambientale (acqua e sedimento/limo) in grado di fornire utili dati sul rilascio nel tempo e trasporto trasversale, per mezzo dell'acqua, dei radionuclidi naturali contenuti nei fosfogessi. Inoltre, gli interventi di bonifica dell'area dovranno necessariamente prendere in esame il trattamento dell'acqua del laghetto e pertanto, risulta necessario caratterizzare tale matrice ambientale. Per questi motivi si è deciso di campionare sia l'acqua del laghetto che il limo/sedimento raccolto sulle sue sponde (quest'ultimo può fornire utili indicazioni su una eventuale sedimentazione di materiale radioattivo). Saranno prelevati **N. 8 campioni di acqua superficiale** e **n. 8 campioni di limo/sedimento** lungo le sponde del laghetto secondo lo schema seguente; l'esatta posizione dei punti di campionamento sarà individuata durante i lavori in relazione al livello del laghetto e all'accessibilità in sicurezza delle sponde.



● punto prelievo campioni di acqua e limo/sedimento

Per le specifiche tecniche da seguire si rimanda all'*Elaborato C.3 Metodiche di prelievo, trasporto e conservazione di campioni di acqua* ed *Elaborato C.4 Metodiche di prelievo, campionamento e analisi sostanze vegetali e limo/sedimento laghetto*.

**VEGETALI: alberi, arbusti, sterpaglia, ecc..**

Dalla *documentazione fotografica (Tavola 2)* e dai sopralluoghi condotti, la discarica fosfogessi risulta in parte (circa 20.000 mq) ricoperta da una fitta vegetazione costituita da alberi, arbusti e sterpaglia.

La caratterizzazione radiologica di tale matrice ambientale, nella quale ci potrebbero essere stati fenomeni di bioaccumulo di Ra-226 (nella forma chimica di solfato di radio) e della sua progenie, rappresenta un aspetto importante da valutare per la successiva fase di elaborazione degli interventi di bonifica.

Per questo motivo si è deciso di campionare il materiale vegetale (rami, corteccia e foglie) prelevato dai residui della pulizia effettuata per la preparazione del cantiere e/o da alberi che si trovano all'interno del bacino fosfogessi ed in prossimità del laghetto.

Saranno prelevati **N. 8 campioni di vegetali** (rami, corteccia e foglie) e **N. 2 campioni vegetali** delle stesse specie arboree per il bianco; l'esatta posizione dei punti di prelievo dei campioni sarà determinata durante i lavori mentre, per il bianco i campioni - ove presenti - saranno prelevati nelle stesse zone di prelievo del bianco per il terreno. Per le specifiche tecniche da seguire si rimanda all'*Elaborato C.4 Metodiche di campionamento e analisi sostanza vegetali e limo/sedimento laghetto*.

**TABELLA RIEPILOGATIVA DEI CAMPIONI DI ACQUA, LIMO/SEDIMENTI E VEGETALI**

<b>Matrice ambientale</b>	<b>Prelievo</b>	<b>N.ro campioni</b>
acqua superficiale (laghetto)	8 campionamenti superficiali	<b>8</b>
limo/sedimenti (laghetto)	8 campionamenti superficiali	<b>8</b>
sostanze vegetali	4 campionamenti x 2 specie arboree	<b>8</b>
sostanze vegetali (bianco)	1campionamento x 2 specie arboree	<b>2</b>
	<b>Totale campioni vegetali</b>	<b>10</b>





A questi si aggiungono:

- K-40, isotopo radioattivo del potassio naturale
- Cs-137, ormai ubiquitario a seguito della contaminazione residua dovuta, principalmente, all'incidente di Chernobyl (dal processo industriale in esame non sono infatti attese contaminazioni da radionuclidi di origine artificiale).

**TABELLA VETTORE RADIONUCLIDI**

Famiglia radioattiva	Radionuclide	$T_{1/2}$	Principali radiazioni emesse
Uranio-238	U-238	$4,5 \cdot 10^9$ anni	$\alpha$
	Th-234	24 giorni	$\beta, \gamma$
	Pa-234m	1,2 min.	$\beta, \gamma$
	:		
	:		
	Ra-226	$1,6 \cdot 10^3$ anni	$\alpha, \gamma$
	Rn-222	3,8 giorni	$\alpha$
	Po-218	3,1 min.	$\alpha$
	Pb-214	27 min.	$\beta, \gamma$
	Bi-214	20 min.	$\alpha, \beta, \gamma$
	Po-214	$2 \cdot 10^{-4}$ s	$\alpha$
	Pb-210	21 anni	$\alpha, \beta, \gamma$
	Bi-210	5 giorni	$\beta$
	Po-210	138 giorni	$\alpha$
U-235	U-235	$7,3 \cdot 10^8$ anni	$\alpha, \gamma$
Th-232	Th-232	$1,4 \cdot 10^{10}$ anni	$\alpha$
	Ra-228	5,8 anni	$\beta$
	Ac-228	6,1 ore	$\beta, \gamma$
	Th-228	1,9 anni	$\alpha, \gamma$
	:		
	:		
	Pb-212	11 ore	$\beta, \gamma$
	Bi-212	61 min.	$\alpha, \beta, \gamma$
	Tl-208	3,1 min.	$\beta, \gamma$
radionuclide primordiale	K-40	$1,3 \cdot 10^9$ anni	$\beta, \gamma$
radionuclide artificiale	Cs-137	30 anni	$\beta, \gamma$

### 2.3.2 CONSIDERAZIONI DI NATURA RADIOLOGICA

Le considerazioni che seguono sono tratte, in parte, da: *ISPRA - Rapporto tecnico finale sulle misure radiometriche, L. Magro*; giugno 2011. I radionuclidi individuati sono normalmente presenti nella crosta terrestre, pertanto, uno dei principali problemi di misura consiste nella discriminazione tra il fondo naturale di radioattività ambientale e l'eventuale contributo aggiuntivo determinato dall'attività antropica presa in esame. La discriminazione tra i due contributi presenta difficoltà di varia natura, tra le quali, la principale deriva dai livelli - in alcuni casi - relativamente bassi di concentrazione di attività, che sono tipici dei residui da NORM.

Prima di procedere ad un esame più dettagliato dei problemi legati alle misure di ciascuno dei principali radionuclidi da analizzare, si premettono alcune considerazioni di carattere generale:

- ci sono isotopi radioattivi dell'uranio, del torio e del potassio che hanno una vita media abbastanza lunga da essere presenti sul pianeta fin dalla sua nascita;
- l'uranio e il torio generano nel decadimento altri radionuclidi instabili che, a loro volta, decadono entro tempi più o meno lunghi. Si instaurano quindi delle catene di decadimento (*serie di d.*) che terminano con isotopi stabili del Piombo. Quando la vita media del capostipite di una serie è molto più lunga di quella di tutti i figli, dopo un tempo sufficientemente lungo si instaura una condizione di equilibrio che rende uguali tra loro le concentrazioni di attività di tutti radionuclidi della serie (*condizione di equilibrio secolare*);
- in un minerale di dimensioni macroscopiche, rimasto indisturbato per tempi di scala geologica, tutti gli elementi di una serie naturale presentano la medesima concentrazione di attività del capostipite primordiale (equilibrio secolare). In conseguenza di ciò, il numero di atomi di ciascun radionuclide per grammo di materiale risulta inversamente proporzionale alla vita media del radionuclide medesimo;
- la determinazione delle concentrazioni di un progenitore può essere effettuata per via diretta o per via indiretta, cioè, attraverso la misura delle concentrazioni di attività di alcuni figli, sotto l'ipotesi che si trovino in equilibrio secolare con il progenitore;

- in generale, in una serie naturale di decadimenti radioattivi, l'ipotesi di equilibrio secolare tra progenitori e figli deve essere utilizzata con cautela; infatti, se il tempo di emivita di un radionuclide figlio è sufficientemente lungo, l'equilibrio secolare può essere, ad esempio, perturbato dalle diverse caratteristiche chimico-fisiche dei vari elementi della catena posti a contatto con l'ambiente in cui si trova immerso il campione da prelevare. Un diverso caso di alterazione dell'equilibrio, d'interesse per l'indagine, è rappresentato dall'esempio dei fosfogessi, residui dell'attacco acido delle fosforiti, nei quali il processo industriale di preparazione dell'acido fosforico liquido separa l'uranio, che rimane prevalentemente in soluzione, dallo scarto salino precipitato (*fosfogesso*, cioè *solfato di calcio idrato*), contenente la maggior parte del radio presente nel minerale di partenza. In situazioni simili a quelle descritte, l'eventuale ricorso a misure indirette, condizionate dalla supposizione di equilibrio secolare tra gli elementi della serie, comporterebbe sistematica sottostima o sovrastima della concentrazione d'attività del progenitore.

### 2.3.3 CONSIDERAZIONI SUI METODI DI MISURA DELLA RADIOATTIVITÀ NATURALE

#### MISURE DI URANIO

L'uranio è un elemento presente sul pianeta fin dai primordi; non è particolarmente raro (~ 1 ppm nella crosta terrestre) ed è possibile trovarne traccia in tutti i comparti ambientali; esso si presenta come miscela di più isotopi radioattivi, caratterizzati da tempi di dimezzamento sostanzialmente diversi; tali disparità nei tempi di decadimento radioattivo hanno prodotto, nel corso delle ere geologiche, grandi disparità nelle relative abbondanze attualmente riscontrabili in natura. Nei minerali fosfatici utilizzati per la produzione di fertilizzanti (fosforiti) le concentrazioni di U possono essere significativamente maggiori (7 - 100 pCi/g) di quelle del Th (0,1 - 0,6 pCi/g); <http://www.epa.gov/radiation/tenorm/fertilizer.html>.

Per gli scopi del presente lavoro si considera irrilevante l'isotopo U-236. L'uranio genera due distinte catene di decadimento che terminano con isotopi stabili del Piombo. La prima catena ha come capostipite l'U-238, mentre la seconda è generata dall'U-235. L'U-234 appartiene alla catena di decadimento dell'U-238. La determinazione delle concentrazioni dell'uranio può essere effettuata per via diretta o per via indiretta, cioè, attraverso la misura delle concentrazioni di attività di alcuni figli, sotto l'ipotesi che si trovino in equilibrio con il progenitore. La misura dell'uranio può essere fatta attraverso l'uso di metodi radiochimici: spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS) o spettrometria alfa, oppure indirettamente per mezzo delle emissioni gamma da parte dei figli (Th-234 e Pa-234m).

Nel caso dell'U-235 è possibile rivelare direttamente le emissioni gamma derivanti dal decadimento radioattivo di tale isotopo; tuttavia, una notevole difficoltà in questo tipo di misura diretta è costituita dalla sovrapposizione tra la principale riga di emissione dell'U-235 ( $E=185,7$  keV), e la riga emessa nel decadimento del Ra-226 con un'energia molto prossima ( $E=186,2$  keV). In questo caso, è necessario che il laboratorio effettui le misure di spettrometria gamma utilizzando rivelatori al germanio iperpuro ad alta risoluzione e procedure idonee per la risoluzione del problema (*deconvoluzione dello spettro*) legato alla misura delle concentrazioni di U-235 e Ra-226 tramite questo metodo.

#### MISURE di Ra-226

Il Radio è un elemento radioattivo appartenente al II gruppo della tavola periodica degli elementi; esso esibisce un comportamento chimico affine a quello del Calcio e del Bario. Tuttavia le caratteristiche di solubilità dei suoi composti sono tali da farlo precipitare più facilmente in fase solida rispetto agli altri elementi più leggeri del gruppo. Nella produzione di acido fosforico in soluzione, ad esempio, esso precipita quasi totalmente nei fosfogessi, sotto forma di solfato. Per queste ragioni, il Ra-226, riveste il ruolo di radionuclide di riferimento. Il Ra-226 appartiene alla catena di decadimento della serie dell'U-238; il suo tempo di dimezzamento è notevolmente lungo ( $T_{1/2} = 1600$  a); il progenitore diretto, il Th-230 è caratterizzato da un'emivita ancora più lunga ( $T_{1/2} = 75000$  a).

Nell'ambiente da caratterizzare non è possibile ipotizzare a priori la sussistenza dell'equilibrio d'attività tra il Ra-226 e gli altri elementi della serie dell'U-238, in ciascun tipo di matrice, poiché:

- l'equilibrio con i suoi progenitori può essere alterato dai diversi coefficienti di solubilità dei composti del radio rispetto a quelli del torio e dell'uranio;
- l'equilibrio con i figli è alterato dalla mobilità del gas Rn-222, che può sfuggire dalla matrice originaria.

Pertanto, il Radio si deve presumere in disequilibrio:

- nell'acqua, dipendentemente dalla solubilità dei suoi composti;
- nelle contaminazioni da NORM disperse nei vari comparti ambientali, dipendentemente dai processi industriali, che hanno generato i particolari composti chimici contaminati dai radionuclidi di origine naturale presenti nelle materie prime.

La misura del Ra-226 può essere fatta come segue:

- spettrometria gamma misura indiretta: una determinazione indiretta della concentrazione di attività di Ra-226 si può ottenere sempre in spettrometria gamma, misurando le concentrazioni d'attività di Pb-214 e Bi-214, due discendenti a vita breve ( $T_{1/2} \approx 20$  min.), il cui decadimento è accompagnato da un'intensa emissione di radiazione gamma. Nella serie dell'U-238 essi discendono dal decadimento del Rn-222, un gas nobile che esala facilmente dai campioni trattati, pertanto, affinché le concentrazioni di Pb-214 e Bi-214 siano mantenute in equilibrio secolare con il progenitore Ra-226 è necessario:
  - sigillare ermeticamente il contenitore del campione per impedire la dispersione in atmosfera del Rn-222;
  - procedere alla misura dopo aver atteso per un tempo pari a 8-10 emivite del Rn-222 ( $T_{1/2} = 3,8$  d), cioè circa un mese dopo la sigillatura.

Il vantaggio del metodo consiste nella maggiore sensibilità e nella minore incertezza sperimentale relativa; ciò è dovuto alla maggiore intensità e al numero delle righe di emissione non affette da problemi di sovrapposizione con altri radionuclidi. Questo metodo può anche essere utilizzato per verificare, tramite comparazione, i dati delle misure dirette di Ra-226 eseguite con metodi radiochimici. Inoltre, le molteplici righe di emissione gamma del Pb-214 e del Bi-214 coprono uno spettro di energia ampio e permettono di effettuare controlli qualitativi generali su tutte le misure gamma, specialmente riguardo alla consistenza delle correzioni degli effetti di autoassorbimento e degli effetti di somma. Lo svantaggio principale consiste nel maggiore dispendio di tempo, dovuto alla maggiore complessità della preparazione dei campioni e all'attesa del raggiungimento dell'equilibrio secolare.

- spettrometria gamma misura diretta: il Ra-226 emette una sola riga gamma con intensità non trascurabile ( $E=186,2$  keV;  $Y=3,6\%$ ); tale riga, come già spiegato, è sovrapposta con l'emissione gamma più intensa generata dal decadimento dell'U-235 ( $E=185,7$  keV;  $Y=57,2\%$ ).
- scintillazione liquida con pretrattamento: metodo radiochimico che prevede la dissoluzione dei campioni.

### MISURE di Pb-210 e Po-210

Il Pb-210 è un radionuclide con un tempo di dimezzamento di circa a 20 anni; esso decade prevalentemente in Bi-210 ( $T_{1/2} = 5$  d) e da qui, in Po-210 ( $T_{1/2} = 138$  d). Nell'ambiente naturale può trovarsi in disequilibrio rispetto agli altri elementi della serie dell'U-238 per varie ragioni:

- l'equilibrio con i suoi progenitori può essere alterato dai diversi coefficienti di solubilità dei composti del Piombo rispetto a quelli del Torio e dell'Uranio e del Radio;
- l'equilibrio con il Radio è alterato dalla mobilità del gas Rn-222, che può sfuggire dalla matrice originaria. Nell'acqua di falda e negli strati superficiali del terreno, si potrebbe osservare un arricchimento di Pb-210 (e Po-210) rispetto agli strati sottostanti ai fosfogessi poiché, il Rn-222 si diluisce nell'acqua o si disperde nell'atmosfera soprastante e decadendo, produce Pb-210 e Po-210, che aderiscono rapidamente al particolato sospeso e, dopo qualche tempo, riprecipitano sulla superficie del terreno.

Il Pb-210 e il Po-210 si devono presumere in disequilibrio tra loro e con gli altri elementi della serie naturale:

- nell'acqua, dipendentemente dalla solubilità dei relativi composti;
- nelle contaminazioni da NORM disperse nei vari comparti ambientali, dipendentemente dai processi industriali, che hanno generato i particolari composti chimici contaminati dai radionuclidi di origine naturale presenti nelle materie prime.

La misura del Pb-210 può essere fatta come segue:

- conteggio beta: misura indiretta tramite metodi radiochimici basata sul conteggio di decadimento beta del figlio Bi-210;
- spettrometria gamma: misura diretta che però presenta alcuni problemi:
  - probabilità di emissione gamma non molto elevata (4,25%) e ciò pone un limite alla minima concentrazione di attività rivelabile;
  - energia dell'unica riga emessa con intensità apprezzabile relativamente bassa ( $E=46,5$  keV); in tale regione i comuni rivelatori (germanio di tipo p) presentano un rapporto segnale/rumore molto sfavorevole, si deve fare uso di rivelatori (germanio di tipo n) più adatti alle misure a bassa energia, e, comunque, fare molta cura nella correzione dell'effetto di autoassorbimento dei fotoni emessi.

## MISURE DI TORIO

Il Torio è un elemento naturale primordiale che non ha isotopi stabili; tuttavia la vita media molto lunga dell'isotopo più stabile, il Th-232 ( $T_{1/2} = 14,1$  miliardi di anni), rende questo metallo relativamente poco radioattivo. Nella crosta terrestre il Torio è più abbondante dell'Uranio ( $A_{nat.} \approx 10$  ppm) ed è possibile trovarne traccia in tutti i comparti ambientali. In presenza di ioni fosfati (ad esempio durante la produzione di acido fosforico per fertilizzanti) forma precipitati di varia composizione chimica, che risultano insolubili in acqua e in soluzioni acide. Per questa ragione è lecito supporre che, ai tempi dell'attività produttiva dello stabilimento "ex Liquichimica" di Tito Scalo (PZ), il processo industriale abbia prevalentemente separato il Torio dall'acido fosforico liquido, relegandolo all'interno della fase solida di scarto (*fosfogessi*). Per queste ragioni si prevedono protocolli di misura più semplici basati solo sulla spettrometria gamma.

### Misure di spettrometria gamma sui radionuclidi della serie del Th-232

Il decadimento alfa del Th-232 non è accompagnato da righe di emissione gamma abbastanza intense da risultare utilizzabili in pratica. La misura di spettrometria gamma deve dunque essere indirettamente basata sulla determinazione della concentrazione di attività di un figlio (o più figli) gamma-emettitore, che si trovino in condizioni di equilibrio secolare con il progenitore. Il discendente diretto, il Ra-228, non esibisce righe significative nell'intervallo utilizzabile dalla strumentazione. Il tempo di emivita del Ra-228 è relativamente lungo ( $T_{1/2} \approx 5,7$  a); pertanto, per quanto già detto a proposito delle misure indirette, si deve verificare che l'ipotesi di equilibrio secolare tra Th-232 e Ra-228 sia plausibile, in base alla natura del campione analizzato. Lo Ac-228 è il successivo anello della catena; si tratta di un radionuclide gamma-emettitore a breve vita. La spettrometria gamma sull'Ac-228 fornisce, dunque, un'affidabile misura indiretta della concentrazione di attività di Ra-228. Il Th-228 è il figlio del Ra-228 e presenta un'emivita di durata confrontabile con quella del padre ( $T_{1/2} \approx 1,9$  a).

Se si verifica che Th-228 e Ra-228 sono in equilibrio di concentrazione, ci sono buone ragioni per ritenere che nel corso di un periodo di qualche anno prima della data di misura non siano intervenuti fattori ambientali che abbiano agito dinamicamente, attraverso processi chimico-fisici (solubilità, trasporto, diffusione, ecc..), sulle concentrazioni relative di Torio o Radio nel campione. Per tale motivo diventa molto probabile che anche il capostipite Th-232 si trovi in equilibrio con il Radio della serie.

Per misurare indirettamente il Th-228 si possono utilizzare convenientemente tre discendenti a vita breve: Pb-212, Bi-212 e Tl-208, anche se non mancano, come di consueto, le complicazioni:

- essi discendono dal decadimento di un isotopo del gas nobile radon, il Rn-220. Tuttavia, a differenza del Rn-222, che ha un'emivita di circa 4 giorni, il Rn-220 decade entro pochi minuti e, pertanto, la sua capacità di mobilità nell'ambiente è molto meno significativa, ai fini della misura;
- le righe di emissione gamma vanno scelte con cura per evitare le sovrapposizioni con righe di energia simile, emesse da radionuclidi delle altre serie naturali, presenti nel campione;
- l'analisi dello spettro di emissione gamma, specialmente per il Bi-212 e il Tl-208, è complicata dalla presenza di molteplici righe emesse in coincidenza (*effetto somma*).

A questo proposito, si osserva che:

- il problema della fugacità del Rn-220 è risolto con la sigillatura ermetica dei contenitori dei campioni;
- le sovrapposizioni tra le righe gamma vanno eliminate attraverso la messa a punto di apposite librerie;
- la correzione dell'effetto somma si risolve con procedure di taratura volte a determinare la curva d'efficienza dell'apparato di misura.

### 2.3.4 TECNICHE DI MISURA RADIONUCLIDI

Le analisi, valutazioni e considerazioni fin qui svolte, conducono alla definizione delle tecniche di misura dei radionuclidi da adottare ai fini della caratterizzazione radiologica del sito.

Nella tabella seguente si riportano, per ciascuna delle matrici ambientali identificate, il vettore dei radionuclidi individuato, le diverse tecniche di misura che si possono utilizzare con indicati, per ciascuna di esse, la sensibilità richiesta (MAR), la quantità minima di materiale da campionare ed il tempo richiesto per l'esecuzione dell'analisi per raggiungere tale sensibilità e, nelle note, alcuni dei principali aspetti delle diverse tecniche di misura elencate.

**TECNICHE DI MISURA: MATRICI AMBIENTALI E RADIONUCLIDI**

Matrice ambientale	Radionuclide	Tecnica misura	Quantità min. campione	Tempo analisi	MAR (Bq/kg o Bq/l)	Note
TERRENO	U-238	Spettrometria di massa (ICP-MS)	1 g	2 d	0,001	$A_s(U-238) = 12,4 \text{ kBq/g}$
		Spettrometria gamma	500 ml	3 d	10	misura indiretta: Th-234 e Pa-234m
	Ra-226	Spettrometria gamma	500 ml	30 d	1	misura indiretta: Pb-214 e Bi-214
		Conteggio beta con pretrattamento	10 g	30 d	1	misura indiretta: Bi-210 previa preparazione radiochimica
	Pb-210	Spettrometria gamma	500 ml	2 d	15	
		Spettrometria alfa	10 g	10 d	0,1	previa preparazione radiochimica
	U-235	Spettrometria di massa (ICP-MS)	1 g	2 d	0,001	$A_s(U-235) = 80 \text{ kBq/g}$
		Spettrometria gamma	500 ml	3 d	1	
	Th-232	Spettrometria gamma	500 ml	3 d	2	misura indiretta: Ac-228
	Th-228	Spettrometria gamma	500 ml	3 d	1	misura indiretta: Pb-212, Bi-212 e Tl-208
ACQUA DI FALDA e ACQUA LAGHETTO	U-238	Spettrometria di massa (ICP-MS)	10 g	1 d	0,0001	$A_s(U-238) = 12,4 \text{ kBq/g}$
		Spettrometria gamma	5 l	3 d	1	misura indiretta: Th-234 e Pa-234m
	Ra-226	Scintillazione liquida con pretrattamento	200 g	30 d	0,01	misura indiretta tramite emissioni alfa radon e figli in equilibrio previa preparazione radiochimica
		Spettrometria gamma	5 l	30 d	0,2	misura indiretta: Pb-214 e Bi-214
	Pb-210	Conteggio beta con pretrattamento	500 g	30 d	0,01	misura indiretta: Bi-210 previa preparazione radiochimica
		Spettrometria gamma	5 l	3 d	1	
	Po-210	Spettrometria alfa	500 g	12 d	0,001	previa preparazione radiochimica
	U-235	Spettrometria di massa (ICP-MS)	10 g	1 d	0,0001	$A_s(U-235) = 80 \text{ kBq/g}$
		Spettrometria gamma	5 l	3 d	0,1	
	Cs-137	Spettrometria gamma	5 l	3 d	0,02	misura di controllo
	SET MISURE MAGGIORE SENSIBILITÀ					
	SET MISURE MINORE SENSIBILITÀ					

- segue -

### TECNICHE DI MISURA: MATRICI AMBIENTALI E RADIONUCLIDI

Matrice ambientale	Radionuclide	Tecnica misura	Quantità min. campione *	Tempo analisi	MAR (Bq/kg o Bq/l)	Note
LIMO SEDIMENTO LAGHETTO	U-238	Spettrometria di massa (ICP-MS)	1 g	2 d	0,001	A <sub>s</sub> (U-238) = 12,4 kBq/g
		Spettrometria gamma	500 ml	3 d	10	misura indiretta: Th-234 e Pa-234m
	Ra-226	Spettrometria gamma	500 ml	30 d	1	misura indiretta: Pb-214 e Bi-214
		Conteggio beta con pretrattamento	10 g	30 d	1	misura indiretta: Bi-210 previa preparazione radiochimica
	Po-210	Spettrometria gamma	500 ml	2 d	15	
		Spettrometria alfa	10 g	10 d	0,1	previa preparazione radiochimica
	U-235	Spettrometria di massa (ICP-MS)	1 g	2 d	0,001	A <sub>s</sub> (U-235) = 80 kBq/g
		Spettrometria gamma	500 ml	3 d	1	
	Cs-137	Spettrometria gamma	500 ml	3 d	0,5	misura di controllo
VEGETALI	U-238	Spettrometria di massa (ICP-MS)	10 g	2 d	0,001	A <sub>s</sub> (U-238) = 12,4 kBq/g
		Spettrometria gamma	500 ml	3 d	20	misura indiretta: Th-234 e Pa-234m
	U-235	Spettrometria di massa (ICP-MS)	10 g	2 d	0,001	A <sub>s</sub> (U-235) = 80 kBq/g
		Spettrometria gamma	500 ml	3 d	2	
	Ra-226	Scintillazione liquida con pretrattamento	10 g	30 d	0,05	misura indiretta tramite emissioni alfa radon e figli in equilibrio previa preparazione radiochimica
		Spettrometria gamma	500 ml	30 d	2	misura indiretta: Pb-214 e Bi-214
	Po-210	Spettrometria alfa	10 g	10 d	0,1	previa preparazione radiochimica
	Cs-137	Spettrometria gamma	500 ml	3 d	1	misura di controllo
(*) per i vegetali materiale portato a peso costante per essiccazione						
	SET MISURE MAGGIORE SENSIBILITÀ					
	SET MISURE MINORE SENSIBILITÀ					

Le tecniche di misura dei radionuclidi di interesse per le diverse matrici ambientali da caratterizzare saranno utilizzate in modo differente (n. 2 set di misure per ciascuna matrice ambientale: uno con maggiore sensibilità ed un altro con una sensibilità minore) sulla base delle seguenti considerazioni:

- 1) ottimizzazione delle risorse garantendo comunque, l'affidabilità e rappresentatività delle misure;
- 2) controllo di qualità: tramite il confronto dei risultati ottenuti con le diverse tecniche (ad esempio, valori di Pb-210 misurati in conteggio beta - misura più sensibile - e con la spettrometria gamma), è possibile verificare l'affidabilità della misura;
- 3) correlazione tra diversi radionuclidi: utilizzando tecniche di misura più sensibili è possibile determinare tra alcuni radionuclidi (ad esempio, Pb-210 e Po-210) e sulla base di un numero sufficiente di analisi (campione statistico), fattori di correlazione da utilizzare nelle tecniche di misura meno sensibili per avere una stima di radionuclidi difficili da rilevare (Po-210);
- 4) inquinamento della matrice: l'utilizzo di tecniche di misura con limiti di sensibilità elevati - rispetto ai limiti per il rilascio incondizionato (*General Clearance Level -RP 122 - Part II*) - permettono di indagare i fenomeni ed il grado di inquinamento nelle diverse matrici ambientali causati dallo stoccaggio dei fosfogessi.

#### Analisi radiometriche aggiuntive: fase di approfondimento

Da quanto fin qui esposto, il numero, la tipologia e sensibilità delle analisi radiometriche previste per ciascuna delle matrici ambientali individuate (*Elaborato C.5 Metodiche di determinazione di radionuclidi in acqua e terreno*) dovrebbe garantire un'accurata caratterizzazione radiologica della discarica di fosfogessi. Tuttavia si prevede, sin da adesso, una seconda fase di approfondimento con l'esecuzione di ulteriori analisi radiometriche ad integrazione di quelle previste, che potrebbe rendersi necessaria sulla base dei seguenti fatti:

- terreno e acqua di falda: impossibilità di correlazione tra Pb-210 e Po-210; in questo caso sono previste ulteriori analisi di spettrometria alfa del Po-210;
- acqua superficiale e limo/sedimenti laghetto, e sostanza vegetali: insufficiente rappresentatività dei campioni analizzati; in questo caso sono previste ulteriori analisi di spettrometria gamma e alfa per diversi radionuclidi.

Nel quadro economico sono state inserite alcune somme a disposizione della Stazione Appaltante per tenere conto della possibile esecuzione di ulteriori analisi radiometriche.

# SEZIONE III

---

## III - DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI



### 3.0 PREMESSA

Nel presente capitolo si descrivono gli interventi da realizzare per la caratterizzazione radiologica della discarica di fosfogessi dell'area "ex Liquichimica" del SIN di Tito Scalo (PZ). I dettagli sulle diverse lavorazioni sono riportati nelle specifiche tecniche allegate alla relazione generale.

#### 3.1 INDAGINE RADIOMETRICA PRELIMINARE E MONITORAGGIO RADIOLOGICO

La discarica di fosfogessi dovrà essere sottoposta, prima dell'inizio di qualsiasi altra attività, ad una **indagine radiometrica preliminare**, condotta dall'Esperto Qualificato incaricato dall'appaltatore della sorveglianza fisica di radioprotezione, al fine di verificare ed integrare i dati sullo stato radiologico del sito attualmente disponibili (vedi paragrafo § 1.4) con lo scopo di:

- avere dati, elementi ed informazioni necessari per effettuare (EQ dell'Appaltatore) le valutazioni preventive di radioprotezione inerenti l'attività da svolgere e fornire le conseguenti indicazioni di radioprotezione (ex art. 61, comma 2. del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.);
- definire uno stato radiologico *ante-operam* del sito e delle aree circostanti al fine di aver un riferimento per valutare l'impatto che le attività avranno sull'ambiente circostante;
- modificare e/o integrare qualche punto della maglia dei campionamenti del terreno sulla base dei dati acquisiti.

Infatti, i dati radiometrici forniti dal Consorzio ASI rappresentano una fotografia dello stato della discarica prima dei lavori, ma questa deve tenere conto dei cambiamenti che le attività possono produrre nello stato radiologico delle aree. Al fine di superare tale problema ed avere dati radiologici precisi e sempre attuali, è prevista una **mappatura radiologica preliminare** dell'intera discarica, che verrà costantemente e periodicamente riveduta ed aggiornata: **monitoraggio radiometrico delle aree**.

Indagine radiometrica preliminare: descrizione della tipologia e modalità delle misure

Nel corso dell'**indagine radiometrica preliminare** dovranno essere condotte le seguenti misure:

- a) rateo di dose esterna ambientale a circa 1 m dal suolo, con apparecchiatura in grado di rilevare il fondo naturale ed apprezzare variazioni dello stesso ( $\pm 10\%$ ), da effettuare in:
  - aree esterne alla discarica per rilevare il fondo ambientale di radiazione gamma;
  - aree interne alla discarica: dovrà essere rilevato il rateo di dose in tutte le aree accessibili con strumentazione accesa e letture a vista in continuo al fine, tra l'altro, di individuare e segnalare la presenza di punti caldi (*hot spot*) nei quali andrà effettuata una misura a contatto del terreno; i valori superiori al doppio del valore di fondo naturale devono essere registrati;
- b) contaminazione superficiale alfa e beta/gamma in diverse aree e, comunque, a contatto dei punti caldi individuati (vedi punto a); inoltre, ove possibile, andrà eseguita anche una misura di contaminazione superficiale trasferibile allo scopo di permettere la valutazione del rischio di contaminazione dei lavoratori che effettueranno le lavorazioni successive;
- c) spettrometria gamma di tipo qualitativo: al fine di verificare la presenza di radionuclidi ambientali e/o artificiali nel terreno superficiale; in alcuni punti, scelti allo scopo di essere rappresentativi dell'area e, comunque, a contatto dei punti caldi individuati (vedi punto a);
- d) campionamento particolato atmosferico (polveri totali): al fine di verificare la concentrazione di radioattività nell'aria; in alcuni punti, scelti allo scopo di essere rappresentativi dell'area e, comunque, a contatto dei punti caldi individuati (vedi punto a) con campionatore aria, deposizione su filtro e analisi radiometrica (alfa e beta totale e spettrometria gamma);
- e) radon in aria con monitor attivo: all'esterno della discarica (misura del fondo ambientale) e in diversi punti all'interno ed in prossimità dei bacini fosfogessi.

#### Monitoraggio radiologico: descrizione della tipologia e modalità delle misure

Le misure iniziali, prima elencate e descritte, saranno ripetute nel corso delle attività per valutare in corso d'opera sia il rischio radiologico dei lavoratori e delle popolazione, sia eventuali fenomeni di inquinamento ambientale nonché alla fine dei lavori (*post-operam*) per verificare che non ci sia stata alcuna modifica delle condizioni radiologiche iniziali nelle aree interessate dalle attività di caratterizzazione.

Si riassumono nella tabella seguente la tipologia, frequenza e descrizione delle misure previste dal monitoraggio radiologico.

**TABELLA MONITORAGGIO RADIOLOGICO DELLE AREE**

Tipologia	Frequenza	Descrizione
Dosimetria ambientale limite della recinzione discarica	continua (sostituzione/lettura dosimetri: mensile)	n. 20 dosimetri TLD (DMR: 20 microSv)
Misura concentrazione radionuclidi particolato atmosferico	n. 1 sett.: allestimento cantiere (movimentazione terra)	campionatore aria, deposizione su filtro e analisi radiometrica (alfa e beta totale + spett. gamma)
	n. 1 sett.: durante i sondaggi	
Misura radon in aria	n. 1 sett.: durante i sondaggi	monitor attivo portatile ad alta sensibilità ( $\leq 5 \text{ Bq/m}^3$ )
Contaminazione superficiale (alfa tot. e beta/gamma tot.)	continua su attrezzature ed indumenti protettivi (DPI)	monitor portatile a larga superficie alta sensibilità ( $\beta$ : $0,1 \text{ Bq/cm}^2$ / $\alpha$ : $0,01 \text{ Bq/cm}^2$ )
Misura radioattività acqua di falda	n. 2 prelievi piezometri pG9 e pM9: inizio attività n. 2 prelievi piezometri pG9 e pM9: fine attività	analisi laboratorio alfa totale/beta totale

I risultati raccolti durante l'indagine radiometrica iniziale e nelle fasi di monitoraggio dovranno essere presentati in apposita relazione che mostri i dati in maniera semplice e chiara attraverso tabelle e/o grafici. Le modalità di misura (strumentazione, sensibilità, taratura, ecc..) sono definiti nell'*Elaborato C.5- Metodiche di determinazione di radionuclidi in acqua e terreno*.

### 3.2 INDAGINI INDIRETTE

Prima di procedere alle perforazioni, è prevista l'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche indirette volte ad ispezionare, in campo, ogni singola postazione per verificare che sussistano le condizioni di agibilità in relazione al dispositivo di perforazione prescelto e di sicurezza degli operatori e degli impianti. In particolare, nel caso dei sondaggi geognostici, preventivamente al posizionamento della trivella in assetto di lavoro, ci si assicurerà - ricorrendo a metodi di indagine indiretta, quali le rilevazioni georadar - che il sottosuolo, lungo la verticale del punto prescelto, sia libero da servizi interrati (tubazioni, linee elettriche, ecc.).

#### 3.2.1 TOMOGRAFIE ELETTRICHE

Il metodo si basa sul principio che la distribuzione di un campo di potenziale elettrico sulla superficie del terreno dipende, oltre che dalle caratteristiche geometriche della sorgente, anche dalla distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo ed è finalizzato ad integrare e correlare i dati acquisiti a mezzo sondaggi a carotaggio, interpolando fra i singoli centri di perforazione.

Le indagini geoelettriche che restituiscono un'immagine 2D del sottosuolo permettono di studiare le variazioni di resistività nella direzione verticale e nella direzione orizzontale lungo la linea di acquisizione. I sondaggi di tomografia elettrica 2D saranno effettuati usando un elevato numero di elettrodi al fine di ottenere un alto dettaglio di immagine, collegati ad un cavo multipolare. Per rappresentare graficamente i dati ottenuti attraverso un'indagine geoelettrica 2D, sarà usato il metodo della costruzione grafica della "pseudosezione". I dati saranno poi rappresentati graficamente sulla sezione verticale passante per il profilo di acquisizione, così facendo si attribuisce esattamente la misura di resistività apparente ad un punto della sezione, al di sotto del centro dello stendimento, proprio all'intersezione di due rette che si dipartono, con un'inclinazione di 45°, dai centri dei due dipoli.

#### Specifiche tecniche del georesistivimetro

Il sondaggio geoelettrico 2D sarà acquisito utilizzando un georesistivimetro ad alta risoluzione, in grado di effettuare e memorizzare acquisizioni con risoluzione di 16 bit (o 30μV). Le acquisizioni saranno visualizzate e trasferite su un computer esterno per l'elaborazione successiva. Lo strumento è costituito da un sistema multiprocessore in grado di generare autonomamente l'onda di energizzazione (in genere onda quadra), immessa nel terreno attraverso gli elettrodi di corrente, e contemporaneamente di acquisire dati dagli elettrodi di misura. L'acquisizione di tensione e di corrente viene fatta in modo contemporaneo con due letture (successivamente mediate), seguendo i parametri reimpostati. Al termine di ogni ciclo viene sottratto dinamicamente il potenziale spontaneo.

Per l'elaborazione dei dati di resistività apparente acquisiti, in considerazione degli scopi richiesti dall'indagine, si valuterà la necessità di applicare una correzione topografica. Una routine per la modellazione diretta sarà stata utilizzata per calcolare valori di resistività apparente sintetici, attraverso il metodo degli elementi finiti. Sarà scelto un algoritmo basato sulla tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non-lineare per l'inversione dei dati sperimentali. Il programma suddividerà il sottosuolo in un certo numero di blocchi rettangolari che serviranno per definire una pseudosezione di resistività apparente (attraverso la modellazione diretta) caratterizzata dalla migliore compatibilità con i valori di resistività apparente misurati.

#### 3.2.2 INDAGINI GEORADAR

Il classico Radar (Radio detecting and ranging, radio misuratore e rivelatore a distanza) è uno strumento che consente di rilevare le informazioni relative alla posizione di un oggetto nello spazio.

Ciò viene realizzato mediante il confronto tra un segnale di riferimento, emesso da un trasmettitore di onde elettromagnetiche e quello riflesso dall'oggetto da localizzare sul quale avviene la riflessione delle onde elettromagnetiche.

Il Georadar, noto con la sigla GPR (Ground Penetrating Radar, radar che penetra nel terreno) è un particolare radar che sfrutta i fenomeni fisici, quali la riflessione, rifrazione e diffrazione che può subire un'onda elettromagnetica quando incontra delle discontinuità all'interno del mezzo indagato legate a variazioni delle proprietà elettriche e magnetiche dei terreni o dei materiali attraversati (cavità, variazioni litologiche, corpi sepolti, ecc..) ed in particolare alla variazione della permittività (o costante dielettrica relativa).

### Specifiche tecniche della apparecchiatura Georadar

La strumentazione da utilizzare per le prospezioni GEORADAR dovrà avere caratteristiche non inferiori a quelle di un'unità centrale della GSSI (Geological Survey Sistem Inc.) modello SIR 3000, utilizzando antenne con frequenza centrale da 200 e 600 MHz.

Questo sistema è capace di generare, captare, amplificare, filtrare ed archiviare i segnali e permette di visualizzare in tempo reale i dati acquisiti attraverso uno schermo a cristalli liquidi. Ciò consente una valutazione immediata dei dati, permettendo quindi la modifica dei parametri di acquisizione direttamente in sito. In questo modo è possibile ottimizzare la qualità dell'acquisizione, evitando ulteriori ripetizioni delle misure e riducendo i tempi necessari per le operazioni di indagine. I profili saranno eseguiti applicando una tecnica di campionamento denominata RSAD (Radar Surface Arrive Detection), con una configurazione di antenne monostatica. Questa tecnica prevede che il campionamento dei dati sia effettuato facendo scorrere sulla superficie del mezzo da indagare una antenna che funge alternativamente da trasmittente e da ricevente. In questa maniera il volume indagato è quello posto all'incirca lungo la verticale dal punto di misura.

Quando il georadar passa sopra un oggetto riflettente, l'antenna riceve una riflessione anche quando non è sulla verticale passante per quest'ultimo. Il risultato è una tipica iperbole di riflessione. Infine, i dati sperimentali ottenuti vengono opportunamente processati con filtri ed amplificatori. In particolare, i filtri hanno la funzione di migliorare i dati ricevuti, attenuando le componenti del segnale caratterizzate dalla qualità dei segnali su frequenze indesiderate (*noise* o rumore elettromagnetico), mentre gli amplificatori sono utilizzati per amplificare gli impulsi più deboli provenienti da riflessioni da parte di superfici di discontinuità più profonde, o da parte di litotipi particolarmente assorbenti.

Tale sistema può garantire una qualità ed una quantità dei dati sufficiente rispetto al carattere diagnostico desiderato per l'indagine, consentendo, contemporaneamente, una elevata velocità di esecuzione delle operazioni di acquisizione.

Le indagini condotte permetteranno di riconoscere la presenza di alcune anomalie radar riconducibili a bersagli stratigrafici strutturali. Dall'elaborazione delle linee GPR eseguitesi potrà procedere ad una ricostruzione preventiva delle condizioni riscontrabili nel sottosuolo.

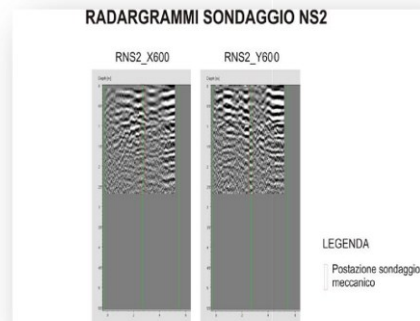


Figura | Acquisizione GPR di Superficie ed esempio di radargrammi.

### 3.3 ALLESTIMENTO CANTIERE

L'area oggetto degli interventi, denominata "discarica fosfogessi", è posizionata all'interno dell'area Industriale di Tito Scalo, cui si accede dal Raccordo Autostradale Potenza Sicignano tramite apposita rampa di accesso. L'area è posta all'interno del perimetro dell'ex Liquichimica a sua volta rientrante nel più ampio perimetro del SIN di Tito Scalo (PZ).

L'accesso all'area avviene da un unico ingresso posto nel vertice nord-ovest, essa è già attualmente recintata risultando impedito l'accesso a personale non autorizzato.

Il progetto di caratterizzazione prevede l'allestimento di una specifica area da cantiere in cui ubicare le seguenti attività: uffici, spogliatoi/bagni con annessa area di controllo/decontaminazione, deposito attrezzi, deposito dei campioni di terreno, acqua, vegetali, nonché un'area destinata al deposito merci e la collocazione di scarrabili e fusti porta rifiuti (contaminati e non).

Con riferimento alle informazioni attualmente disponibili in merito alle aree esenti da rischio radiologico (vedi paragrafo 1.4), si è scelto di ubicare, per ragioni logistiche e di sicurezza, l'intera area di cantiere nella zona nord-ovest in prossimità del cancello di ingresso.

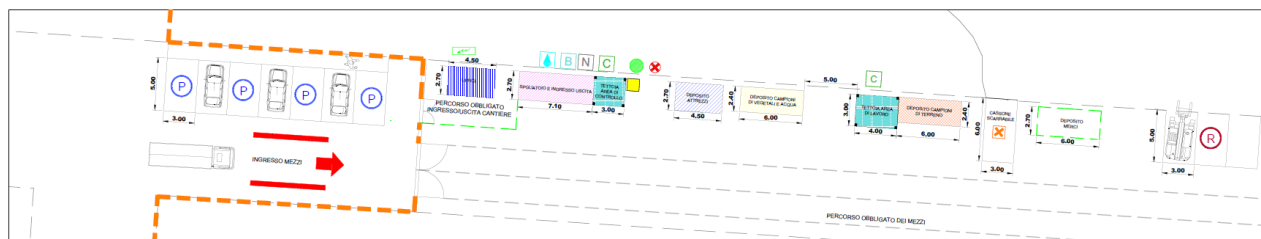


Figura | Layout di cantiere

Nello specifico l'organizzazione del cantiere è stata progettata in modo tale da ridurre le interferenze tra mezzi e personale attraverso la creazione di due distinti accessi e percorsi, relativamente a mezzi/materiali e personale. Per questi ultimi, in particolare, è previsto un unico percorso obbligato di ingresso uscita dal cantiere in modo da controllare gli accessi del personale autorizzato, facilitare le procedure di vestizione e garantire il controllo della contaminazione in uscita dal cantiere.

L'Appaltatore dovrà attenersi nell'allestimento del cantiere a quanto riportato nella Tavola 3 – Layout di cantiere ed esemplificato all'interno del PSC. Le eventuali modifiche e integrazioni dovranno essere sottoposte all'approvazione del "Coordinatore alla sicurezza in fase di esecuzione" e sarà necessario fornire, per ciascuna area a servizio del cantiere, una planimetria di dettaglio con l'individuazione e l'ubicazione di tutte le attività e dotazioni.

### 3.4 PISTE DI CANTIERE E ATTRAVERSAMENTI

L'accesso all'area avviene da un unico ingresso posto nel vertice nord-ovest del perimetro dove è presente un'ampia area asfaltata della lunghezza di circa 220,0 m e della larghezza di circa 10,0 m. Una seconda area pavimentata, della lunghezza di circa 270,0 e della larghezza di circa 4,5 m è presente lungo il perimetro orientale della discarica. Il progetto di caratterizzazione prevede la realizzazione di sondaggi, prelievi piezometrici e di vegetazione all'interno dei "bacini fosfogessi" e in prossimità del laghetto. Al fine di permettere lo svolgimento delle operazioni in condizioni di sicurezza è prevista la realizzazione di piste lungo un percorso perimetrale ai bacini, e di collegamento per raggiungere i punti più interni (vedi figura seguente).

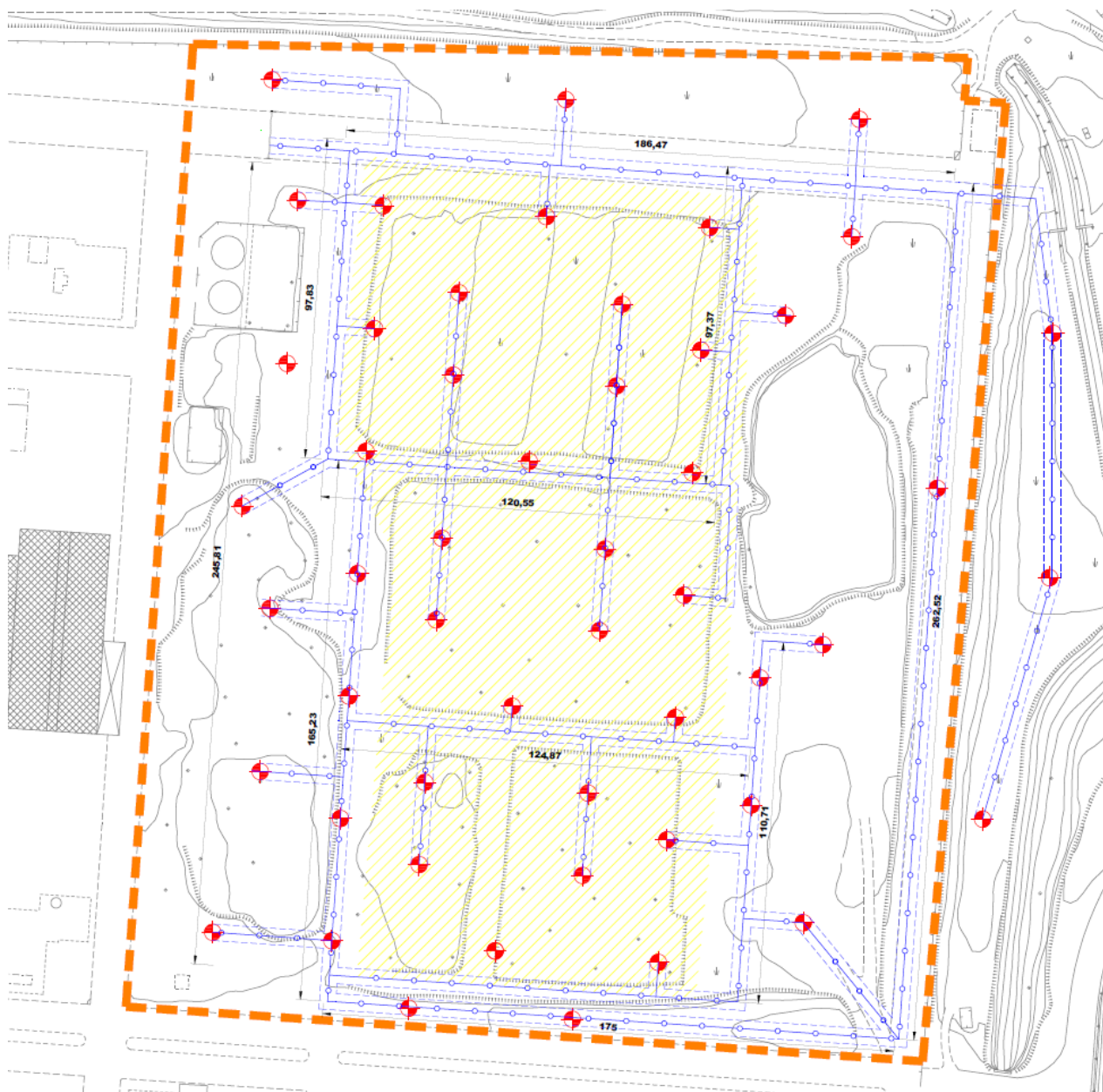


Figura | Piste e attraversamenti

La realizzazione delle piste prevede, sostanzialmente, il decespugliamento della vegetazione esistente, costituita prevalentemente da arbusti e piante. Nei casi di salti di quota superiori ad 1 metro si dovrà provvedere alla realizzazione di rampe e scivoli mediante la collocazione e battitura di tout-venant di cava con pendenza adeguata ai mezzi utilizzati per il trasporto o per la trivella. L'Appaltatore dovrà attenersi nell'allestimento del cantiere a quanto riportato nella Tavola 4 - Piste e attraversamenti ed esemplificato all'interno del PSC. Le eventuali modifiche e integrazioni sui percorsi e sulle piste dovranno essere sottoposte all'approvazione del "Coordinatore alla sicurezza in fase di esecuzione".

### 3.5 PRELIEVO DEI CAMPIONI

Vengono qui di seguito descritte le attività di campionamento da eseguire sia nei sondaggi a carotaggio sia sui piezometri, al fine di verificare - in primo luogo - i valori di fondo naturale nelle aree considerate non soggette ad inquinamento (zone di "bianco"). I campioni necessari alla caratterizzazione delle altre aree di intervento verranno prelevati successivamente.

#### 3.5.1 PRELIEVO DEI CAMPIONI DI TERRENO

Tenuto conto che l'indagine ambientale per mezzo di perforazioni prevede l'analisi chimica del materiale raccolto, per la correttezza delle identificazioni derivanti dalle analisi è indispensabile che si mantenga integro il terreno campionato. A tal fine occorre evitare categoricamente l'uso di qualsiasi fluido di perforazione per non alterare lo stato naturale del campione, il quale potrebbe reagire a contatto con il fluido. Solo in casi limite, allorché risultasse impossibile l'avanzamento a secco, **richiesto il consenso della D.L.**, si potrà far ricorso ad acqua, preferibilmente previa analisi di laboratorio della medesima.

Occorre altresì evitare il surriscaldamento del carotiere, per cui l'avanzamento dell'attrezzo deve avvenire a bassa velocità, sia in traslazione che in rotazione, al fine di prevenire l'alterazione delle sostanze da identificare nei campioni medesimi.

Rispondono alla medesima esigenza di precauzione anche le norme che vengono riportate in dettaglio nella parte relativa alla tecnica di perforazione.

In caso di terreni incoerenti che tendano a franare all'interno del foro, per salvaguardare la qualità del campione è necessario ricorrere ad un rivestimento con tubi in lamiera d'acciaio, temporaneo o permanente in rapporto alle esigenze specifiche (foro da richiudere o, invece, con funzione di piezometro, con rivestimento integro o fessurato).

In questo contesto è fondamentale anche l'identificazione della quota del livello libero dell'eventuale falda acquifera e, là dove possibile, la conoscenza - almeno orientativa - delle sue oscillazioni stagionali.

#### 3.5.2 PRELIEVO DEI CAMPIONI DI ACQUA

Premesso che l'eventuale installazione di piezometri, nel contesto in esame, esige - nella fase di perforazione - le stesse cautele di cui detto al paragrafo precedente al fine di non alterare la matrice costituita dal terreno circostante, è buona norma perforare procedendo a carotaggio continuo e prendere in esame, anche in questo caso, il materiale estratto.

Grazie ai piezometri è possibile non solo seguire le variazioni stagionali di un acquifero ma anche prelevare campioni d'acqua a diverse profondità nel caso di falde sovrapposte, separate da un livello impermeabile.

Infatti, ponendo due tubi piezometrici di diversa lunghezza in parallelo nel medesimo foro o in fori contigui, fessurando i due tubi a quote fra loro diverse, l'uno potrà esclusivamente alla falda più superficiale, l'altro - invece - a quella più profonda. Ciò consentirà ovviamente anche il campionamento separato dei due acquiferi, attingendo con pompe sommerse o peristaltiche.

E' sempre consigliabile la realizzazione di un dreno in ghiaia preferibilmente silicea, pulita, da disporre intorno al tubo piezometrico sino ad 1 m al di sopra del tratto fessurato e del filtro che lo dovrebbe rivestire.

Non va trascurata la scelta dei materiali per le tubazioni e per l'eventuale rivestimento definitivo, soprattutto nel caso di acque aggressive che, attaccando le tubazioni medesime, rilascerebbero in soluzione nuove sostanze chimiche in grado di falsare le successive analisi.

Infine va ricordata l'importanza di provvedere alla sigillatura della porzione più superficiale del piezometro per evitare il possibile apporto diretto in falda delle acque meteoriche o di ristagno, utilizzando malta cementizia almeno sino ad 1 m dal piano di campagna, mentre a fondo foro è opportuno realizzare un tappo di bentonite per isolare il tratto finestrato dagli eventuali livelli sottostanti.

Il pompaggio da un piezometro va eseguito a bassa velocità, provvedendo a ripulire le fessure ed i filtri con diversi arresti della pompa nella fase iniziale delle operazioni. Dopo di che si educa acqua dal foro sino a che essa non giunga limpida o almeno a ridotta torbidità.

L'acqua che si pompa al di fuori del piezometro va smaltita secondo le norme vigenti sui rifiuti.

# SEZIONE IV

---

## IV - ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI, ANALISI ED INTERPRETAZIONE



#### 4.1 PREMESSA

In questo capitolo vengono definite le modalità per la elaborazione e restituzione dei dati, nonché fornite alcune indicazioni sulla metodologia per l'analisi statistica dei dati ai fini di una loro interpretazione.

#### 4.2 ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI

I risultati ottenuti nel corso delle diverse fasi di indagine radiometrica costituiranno la base di dati per caratterizzare il sito dal punto di vista radiologico, definendo il livello e l'estensione della eventuale contaminazione e il conseguente grado di pericolosità della discarica di fosfogessi per l'ambiente circostante.

Inoltre, i risultati della caratterizzazione dovranno indirizzare e supportare la scelta del tipo di intervento da realizzare sulla base anche della conformità o meno ai *"limiti di rilascio" (clearance level)*, definiti per i materiali solidi contenenti NORM nella **RP 122 - Parte II** *"Practical use of the concepts of clearance and exemption - Part II, Application of concepts of exemption and clearance to natural radiation sources"*, che permettono - sotto alcune precise condizioni - la gestione dei materiali al di fuori del quadro normativo di radioprotezione (D.Lgs. 230/95 e s.m.i.).

Nella sua complessità il progetto prevede la gestione di una mole significativa di dati numerici ed analitici da determinare su diverse tipologie di campione nonché di alcuni dati ambientali di diversa natura.

I dati rappresentano delle variabili regionalizzate, ovvero, delle variabili che hanno nelle loro complessità anche una componente spaziale che deve essere opportunamente gestita e presa in considerazione nell'elaborazione degli stessi. La gestione dei dati provenienti dai sondaggi può essere fatta in diversi modi, ad esempio, mediante l'ausilio di tecnologia GIS (Geographic Information System), tecnologia software che permette di posizionare e analizzare oggetti ed eventi che esistono e si verificano su un determinato territorio. Il GIS è uno strumento di organizzazione dei dati terrestri, integra ricerche, analisi statistiche, analisi geostatistiche e permette la memorizzazione dei dati per la generazione di analisi geografiche corredate da tabelle, documenti e mappe, dando la possibilità di calcolare aree, distanze, superfici e gestire tutte le problematiche che posseggono una componente geografica, integrando informazioni e visualizzando scenari. Attraverso l'utilizzo dei GIS è inoltre possibile spiegare eventi, prevedere esiti e risultati, pianificare strategie.

In generale, i dati raccolti durante la caratterizzazione radiologica dell'area (dati numerici, alfa numerici, grafici per l'elaborazione dei dati grezzi e la presentazione, derivanti dalle analisi di laboratorio, ecc..) dovranno essere restituiti in formato cartaceo e digitale. Tutta la cartografia dovrà inoltre essere riportata anche in forma digitale, per permettere eventuali confronti e correlazioni, la cui organizzazione, struttura e formato dovranno essere compatibili con i sistemi più diffusi.

In particolare, la relazione finale di presentazione, descrizione ed analisi dei dati derivanti dalle attività di caratterizzazione dovranno essere resi disponibili su supporto sia cartaceo che digitale (pdf - portable document format) con l'ausilio di tabelle e/o grafici.

I referti di misura, che andranno allegati alla relazione generale, dovranno essere redatti secondo le specifiche indicate nell'elaborato C.5 - *Metodiche di determinazione di radionuclidi in acqua e nel terreno*.

### 4.3 INCERTEZZA DELLA MISURA ED ANALISI DI CONFORMITÀ

Si riportano in questo paragrafo alcune indicazioni generali sull'incertezza di misura che sono state tratte dai documenti qui di seguito elencati, rimandando per ulteriori dettagli ai documenti stessi.

- ISPRA - *"L'analisi di conformità con i valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata a risultati di misura"*. Manuali e linee guida; 52/2009.
- UNI CEI ENV 13005: 2000 - *Guida all'espressione dell'incertezza di misura*.

Va fatta però subito una fondamentale precisazione: le incertezze di misure a cui ci si riferisce riguardano il singolo campione oggetto della misura (termine che si preferisce a quello di prova, utilizzato spesso nell'ambito dei sistemi di certificazione della qualità) e sono quindi, quasi sempre, ampiamente soverchiate dall'incertezza del fenomeno di inquinamento ambientale che si sta investigando attraverso le misure di laboratorio. Si prescinde quindi completamente da tutti quei problemi e difficoltà legate al problema della significatività del campionamento in rapporto al fenomeno che si vuole studiare.

La valutazione dell'incertezza di misura dovrà essere condotta secondo standard nazionali e/o internazionali; la norma UNI CEI ENV 13005: 2000 fornisce uno strumento indispensabile per confrontare i risultati di misura con i valori di riferimento riportati dalla normativa. L'incertezza di misura, calcolata in conformità alla norma UNI 13005, rappresenta l'intervallo, determinato con un livello di confidenza di circa il 95%, al cui interno ricade il "valore vero" della caratteristica d'interesse, mentre il risultato di misura costituisce la migliore stima di tale valore. Si può affermare quindi che, sopra ogni ragionevole dubbio, il "valore vero" della caratteristica d'interesse è compreso all'interno dell'intervallo definito dall'incertezza associata al risultato di misura.

In una matrice ambientale il misurando non è quasi mai una grandezza osservabile direttamente, spesso la sua determinazione richiede un processo di misurazione complesso, articolato in campionamento e misurazione, che include l'osservazione di una serie di parametri chimico-fisici collegati ad esso. Questo processo, per effetto di una serie di parametri di influenza non controllabili, porta alla determinazione del misurando con modalità descrivibili in un modello che prevede una distribuzione casuale dei risultati di misura intorno alla migliore stima. La rappresentazione di questa distribuzione è data dal valore misurato (migliore stima) e dall'incertezza di misura associata al risultato.

Nei casi in cui la norma di riferimento (D.Lgs. 230/95 e RP 122-Parte II) fornisce limiti da rispettare (campo di applicazione e livelli per rilascio incondizionato) e dà indicazioni sulle regole decisionali da utilizzare, si può procedere al confronto diretto tra la migliore stima del valore misurato e il valore limite (estremo superiore dell'intervallo di accettazione) stabilito dalla normativa. Sulla base di questo confronto, si possono prendere le seguenti decisioni: la matrice è conforme oppure la matrice è non conforme.

#### 4.4 ANALISI ED INTERPRETAZIONE DEI DATI

In questo paragrafo si descrivono alcune considerazioni sull'analisi dei dati e sulla loro interpretazione statistica che saranno di supporto al processo decisionale sull'intervento da attuare nel sito.

Nel seguito si affrontano, pertanto, gli aspetti legati alla verifica sul rispetto dei valori limite stabiliti dalla normativa per ciascuno dei radionuclidi di interesse misurato nelle diverse matrici ambientali, e quello, molto più complesso, di valutazione della rappresentatività dei campioni misurati (popolazione di dati) rispetto all'intera matrice analizzata.

##### 4.4.1 VERIFICA LIMITE DI LEGGE

I limiti a cui si può fare riferimento per **materiali solidi** contenenti NORM sono quelli indicati nella pubblicazione *RP-122 - Parte II*, che definisce i cosiddetti "*general clearance level*", cioè valori limite in termini di concentrazione di massa (Bq/g) al di sotto dei quali i materiali fuoriescono dal controllo normativo e possono essere rilasciati senza alcuna restrizione sulla loro destinazione, qui elencati:

Nuclides*	All materials
<i>U 238sec incl. U 235 sec**</i>	0.5
<i>U nat**</i>	5
<i>Th 230</i>	10
<i>Ra 226+</i>	0.5
<i>Pb 210+</i>	5
<i>Po 210</i>	5
<i>U 235sec ***</i>	1
<i>U 235+ ***</i>	5
<i>Pa 231</i>	5
<i>Ac 227+</i>	1
<i>Th 232sec</i>	0.5
<i>Th 232</i>	5
<i>Ra 228+</i>	1
<i>Th 228+</i>	0.5
<i>K-40</i>	5

Tabella tratta da *RP 122-Parte II*  
Tab. 2: Rounded General Clearance Levels in kBq/kg

Parent	Nuclides considered in secular equilibrium
<b>Uranium decay chains*</b>	
U 238sec	U 238, Th 234, Pa 234m, Pa 234 (0.3%), U 234, Th 230, Ra 226, Rn 222, Po 218, Pb 214, Bi 214, Po 214, Pb 210, Bi 210, Po 210
U nat**	U 238, Th 234, Pa 234m, Pa 234 (0.3%), U 234, U 235 (4.6%), Th 231 (4.6%)
Th 230	Th 230
Ra 226+	Ra 226, Rn 222, Po 218, Pb 214, Bi 214, Po 214
Pb 210+	Pb 210, Bi 210
Po 210	Po 210
<b>Thorium decay chains***</b>	
U 235sec	U 235, Th 231, Pa 231, Ac 227, Th 227 (98.6%), Fr 223 (1.4%), Ra 223, Rn 219, Po 215, Pb 211, Bi 211, Tl 207, Po 211 (0.3%)
U 235+	U 235, Th 231
Pa 231	Pa 231
Ac 227+	Ac 227, Th 227 (98.6%), Fr 223 (1.4%), Ra 223, Rn 219, Po 215, Pb 211, Bi 211, Tl 207, Po 211 (0.3%)
<b>Thorium decay chain***</b>	
Th 232sec	Th 232, Ra 228, Ac 228, Th 228, Ra 224, Rn 220, Po 216, Pb 212, Bi 212, Po 212 (64.1%), Tl 208 (35.9%)
Th 232	Th 232
Ra 228+	Ra 228, Ac 228
Th 228+	Th 228, Ra 224, Rn 220, Po 216, Pb 212, Bi 212, Po 212 (64.1%), Tl 208 (35.9%)
K 40	K 40
K 40	K 40

\* U 238 series and U 235 series considered in secular equilibrium (and radionuclides which may be relevant for some industrial processes leading to separation, e.g. Th 230 and Ra 226, or volatilisation, e.g. Pb 210 and Po 210)  
 \*\* Natural U or U nat corresponds to the three uranium isotopes in their fixed natural ratio. Due to the short half life of their daughters they are included also in the calculations.  
 \*\*\* Th 232 series considered in secular equilibrium (and radionuclides which may be relevant for some industrial processes leading to separation, e.g. Ra 228)

Tabella tratta da *RP 122-Parte II*  
Tab. 6: Summary of nuclides and chain segments that are used in modelling

Per l'utilizzo dei suddetti limiti si precisa quanto segue:

- i radionuclidi di riferimento (significativi per la caratterizzazione) sono: Ra-226, Pb-210 e Po-210;
- nel caso in cui sono presenti più radionuclidi nel materiale, al fine di determinare e verificare se la miscela di radionuclidi è al di sotto del limite di rilascio si dovrà usare la seguente formula:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{Li}} < 1,0$$

dove:

$C_i$  è l'attività specifica del radionuclide  $i$  nel materiale considerato (Bq/g)

$C_{Li}$  è il limite di rilascio del radionuclide  $i$  nel materiale considerato (Bq/g)

$n$  è il numero di radionuclidi nella miscela.

- il limite indicato per il Ra-226 si riferisce allo scenario: *building construction (walls of NORM)* mentre, per lo scenario: *person living in a house near a heap/landfill*, il limite sarebbe di 1,3 Bq/g;
- nel calcolo dei suddetti limiti non si è tenuto conto delle seguenti vie di esposizione per i gruppi critici:
  - inalazione di radon e suoi prodotti di decadimento;
  - ingestione di acqua contaminata da pozzi (acqua potabile);

Tuttavia, ulteriori valutazioni condotte e riportate nella RP 122 - Parte II, mostrano che per il radon i limiti garantiscono un livello inferiore a 200 Bq/m<sup>3</sup>, quindi ampiamente al di sotto dei limiti di legge, mentre per il consumo di acqua potabile devono essere fatte valutazioni specifiche.

Per quanto fin qui esposto, in riferimento soprattutto a quanto evidenziato nell'ultimo periodo, i limiti a cui si può fare riferimento per l'**acqua**, potenzialmente contaminata NORM, sono quelli indicati nel *D.Lgs. 31/2001* e nella *Direttiva 2013/51/Euratom* del Consiglio del 22 ottobre 2013 che stabiliscono requisiti sulla qualità dell'acqua destinata al consumo umano in termini di radioattività, come qui descritto:

#### ALLEGATO I

##### VALORI DI PARAMETRO PER RADON, TRIZIO E DI DELLE ACQUE DESTINATE AL CONSUMO UMANO

Parametro	Valore di parametro	Unità di misura	Note
Radon	100	Bq/l	(Nota 1)
Trizio	100	Bq/l	(Nota 2)
DI	0,10	mSv	

##### Nota 1

a) Gli Stati membri possono fissare per il radon un livello il cui superamento è considerato inappropriato ed al di sotto del quale occorre proseguire l'ottimizzazione della protezione, senza compromettere l'approvvigionamento idrico su scala nazionale o regionale. Il livello fissato da uno Stato membro può essere superiore a 100 Bq/l ma comunque inferiore a 1 000 Bq/l. Al fine di semplificare la normativa nazionale, gli Stati membri possono decidere di adeguare il valore di parametro a questo livello.

b) I provvedimenti correttivi sono considerati giustificati da motivi di protezione radiologica, senza ulteriori considerazioni, quando le concentrazioni di radon superano 1 000 Bq/l.

Nota 2: Livelli elevati di trizio possono indicare la presenza di altri radionuclidi artificiali. Se la concentrazione di trizio supera il valore di parametro, è necessaria un'analisi della presenza di altri radionuclidi artificiali.

##### Concentrazioni derivate relative alla radioattività nelle acque destinate al consumo umano (\*)

Origine	Nuclide	Concentrazione derivata
Naturale	U-238 (?)	3,0 Bq/l
	U-234 (?)	2,8 Bq/l
	Ra-226	0,5 Bq/l
	Ra-228	0,2 Bq/l
	Pb-210	0,2 Bq/l
	Po-210	0,1 Bq/l

Per l'utilizzo dei suddetti limiti si precisa quanto segue:

- sono previsti dei livelli di screening dell'attività alfa totale e beta totale, il rispetto congiunto dei quali garantisce il non superamento della dose indicativa (DI = 0,1 mSv/anno), qui riportati:
  - alfa totale: 0,1 Bq/l
  - beta totale: 1,0 Bq/l;
- nel caso di superamento di uno solo dei livelli di screening è necessario misurare i radionuclidi e verificare il rispetto della seguente formula:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i(obs)}{C_i(der)} \leq 1$$

dove:

$C_i(obs)$  concentrazione osservata del radionuclide  $i$  (Bq/l)

$C_i(der)$  concentrazione derivata del radionuclide  $i$  (Bq/l)

$n$  numero di radionuclidi nella miscela.

La verifica del rispetto dei limiti di legge e/o indicati da organismi internazionali può essere fatta per ciascuna matrice sulla base dei risultati ottenuti, attribuendo cautelativamente il valore della MAR in caso di risultato inferiore del limite di sensibilità della tecnica di misura adottata.

L'aver adottato valori di **Minima Attività Rilevabile**, per ciascuna matrice ambientale e radionuclide di interesse, ben al di sotto dei limiti di legge permette da un lato di indagare in modo approfondito il livello di inquinamento, e dall'altro di garantire con un elevato livello di confidenza, tenuto conto anche dell'incertezza della misura, il pieno rispetto dei limiti anzidetti.

#### **4.4.2 ANALISI SULLA RAPPRESENTATIVITÀ DEL NUMERO DEI CAMPIONI**

Un aspetto fondamentale della caratterizzazione radiologica dell'area riguarda l'analisi sulla rappresentatività dei campioni prelevati ed analizzati rispetto all'intera matrice ambientale (popolazione) o a gruppi "omogenei" di tali matrici. La base per condurre tale analisi è costituita dal numero totale di campioni prelevati (257) che saranno classificati in uno dei diversi gruppi "omogenei" attesi, come qui di seguito descritto:

- fosfogesso e/o materiale misto a fosfogesso: n.ro campioni  $\geq 26$ , prelevati dai sondaggi effettuati all'interno del bacino fosfogessi;
- materiale sottostante al fosfogesso: n.ro campioni  $\geq 26$ , prelevati dai sondaggi effettuati all'interno del bacino fosfogessi;
- materiale sovrastante al fosfogesso: n.ro campioni  $\geq 26$ , prelevati dai sondaggi effettuati all'interno del bacino fosfogessi;
- altro materiale: n.ro campioni  $\leq 179$ , prelevati dai restanti sondaggi effettuati;

Per le altre matrici ambientali (acqua di falda, acqua superficiale e limo/sedimento laghetto, e sostanze vegetali) si avranno un numero di campioni da un minimo di 16 a 32.

Il numero di campioni sopra riportato dovrebbe garantire una popolazione di dati sufficiente per estendere i risultati all'intera matrice (verifica rappresentatività) ed effettuare ulteriori analisi statistiche. È comunque prevista, se ritenuto necessario e su richiesta della Stazione Appaltante, una seconda fase di approfondimento con ulteriori analisi radiometriche ad integrazione dei risultati della prima fase.

#### **4.4.3 ULTERIORI ANALISI STATISTICHE**

Sui risultati delle analisi radiometriche condotte sui campioni prelevati, possono essere condotte diverse analisi statistiche per mezzo di test di inferenza statistica in grado di correlare tra loro i risultati.

Uno di questi test di analisi della varianza può, ad esempio, essere applicato sui risultati delle analisi radiometriche condotti sull'acqua prelevata da diversi piezometri, al fine di verificare la significatività delle differenze (variabilità) rilevate a causa della loro posizione, più o meno a valle della discarica, e non delle fluttuazioni casuali dovute ad altri fattori (ad esempio, normale disomogeneità delle acque). Questo test può anche essere effettuato al fine di verificare la significatività statistica di eventuali variazioni nel tempo (*ante e post operam*) rilevate nel corso del monitoraggio radiologico delle aree.

Infine, nel rilascio di materiali potenzialmente contaminati da materie radioattive, condotto per confronto con limiti di legge, si applica il test di ipotesi che consente di decidere circa o meno l'attendibilità dell'ipotesi (rifiutare o non rifiutare l'ipotesi). Questo test è una procedura che, sulla base di dati campionari e con un certo grado di probabilità, consente di decidere se è ragionevole respingere l'ipotesi nulla  $H_0$  (ed accettare implicitamente l'ipotesi alternativa  $H_1$ ) oppure se non esistono elementi sufficienti per respingerla.

In questi casi si valuta la rappresentatività del campione secondo la norma UNI 11458:2012, e la probabilità di un errore di prima specie (il materiale ha una radioattività inferiore ai limiti ma non viene considerato tale e quindi non allontanato) o di seconda specie (il materiale ha una radioattività superiore ai limiti ma viene allontanato).

# SEZIONE V

---

## V – MISURE DI SICUREZZA E GESTIONE DEI RIFIUTI/RESIDUI

### **5.1 MISURE DI SICUREZZA**

Le misure di prevenzione e protezione adottate per la sicurezza e la tutela della salute dei lavoratori addetti alla caratterizzazione radiologica dell'area sono prevalentemente di tipo convenzionale; esse sono dettagliatamente ed ampiamente descritte nel **Piano di Sicurezza e Coordinamento** allegato (*Elaborato D.*) mentre, nel paragrafo seguente si riportano alcune indicazioni di radioprotezione in considerazione del fatto che le attività saranno svolte all'interno della discarica fosfogessi dove sono stati stoccati materiali contenenti NORM.

## 5.2 INDICAZIONI DI RADIOPROTEZIONE

La valutazione del rischio da esposizione alle radiazioni ionizzanti per i lavoratori addetti al cantiere, effettuata in via preliminare sulla base dello stato radiologico del sito e delle modalità di esecuzione delle attività lavorative, conduce ad una loro classificazione come “lavoratori non esposti”, cioè valori di dose efficace ampiamente inferiori a quella fissata dalla normativa per le persone del pubblico (1 mSv/anno).

Ulteriori valutazioni di rischio dovranno essere effettuate, in via preventiva, dall’Esperto Qualificato della ditta sulla base della indagine radiometrica preliminare e riportate nella relazione ex art. 61, comma 2. del D.Lgs. 230/95 e s.m.i. dove saranno indicate tra l’altro le misure di prevenzione e protezione.

Tutto ciò premesso, si descrivono nel presente paragrafo alcune indicazioni preliminari di radioprotezione che dovranno essere adottate ed osservate nella esecuzione dei lavori e nella protezione sanitaria dei lavoratori (sorveglianza fisica) di cui al Capo VIII del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.

### Formazione, informazione ed addestramento dei lavoratori

I lavoratori della ditta appaltatrice addetti alle attività di caratterizzazione radiologica della discarica di fosfogessi, dovranno ricevere un’adeguata formazione ed informazione di radioprotezione in relazione alle mansioni svolte, ai rischi specifici cui sono esposti, alle modalità di esecuzione del lavoro e alle norme interne di protezione e sicurezza predisposte per le normali attività lavorative ed in caso di emergenza.

Il **programma di formazione** [ex art. 61, comma 3. lett. e) del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.] dovrà trattare i seguenti argomenti distinti tra livello base e specifici:

#### argomenti della formazione di base

- indicazioni sulla natura delle radiazioni ionizzanti, sulle azioni delle radiazioni ionizzanti negli organismi viventi (danni somatici e statistici), sulle grandezze di radioprotezione e sulle relative unità di misura;
- indicazioni sui principi di radioprotezione (giustificazione, ottimizzazione e limitazione delle dosi);
- indicazioni sugli strumenti di misura e sulle modalità di utilizzo degli stessi;
- indicazioni sui dispositivi di protezione individuale adottati e sulle corrette modalità di utilizzo;
- indicazioni sulla segnaletica di sicurezza (divieto, pericolo, avvertimento, salvataggio, ecc.);
- indicazioni contenute nelle norme di sicurezza e protezione, nonché sulle norme di pronto soccorso.

#### argomenti della formazione specifica

- cenni sulla radioattività naturale (NORM);
- descrizione delle caratteristiche radioattive dei materiali presenti in discarica;
- indicazioni sulle modalità operative di esecuzione dei lavori di caratterizzazione radiologica;
- organizzazione del sistema di radioprotezione: personale, funzioni, compiti, ecc..;
- indicazioni sulle procedure operative di radioprotezione (accesso alle aree di lavoro, controlli periodici, gestione dei materiali, ecc..);
- procedure di emergenza da attuare in caso di incidente.

Ad integrazione della attività di formazione condotta in aula, si provvederà all’**addestramento** dei lavoratori al fine di raggiungere adeguate capacità operative per l’esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza sia nella normale attività lavorativa programmata sia in caso di incidente. In particolare, per alcune fasi di lavoro specifiche (ad es., apertura delle fustelle e prelievo dei campioni di terra) dovranno effettuarsi simulazioni (**prove in bianco**) al fine di verificare le modalità di esecuzione delle operazioni e l’efficacia dei sistemi di protezione.

Il livello di apprendimento dei lavoratori, a seguito dell’attività di formazione e di addestramento, sarà valutato con la somministrazione di **test** a risposta multipla.

L’attività di formazione e di addestramento sarà effettuata prima dell’inizio dei lavori di cantiere, e ripetuta, se necessario, durante il cantiere; essa verrà annotata su apposito **registro**.

Infine, occorre prevedere anche l’**informazione** dei lavoratori interni, di quelli esterni e dei visitatori relativamente ai pericoli presenti nelle aree di lavoro, alle norme di comportamento da tenere in condizioni normali e, soprattutto, in caso di emergenza, attraverso l’utilizzo di opuscoli e/o audiovisivi.



### **Norme interne di protezione e sicurezza**

Il sistema di prevenzione dovrà comprendere le **norme interne di protezione e sicurezza** che andranno predisposte dal datore di lavoro in collaborazione con l'esperto qualificato [ex art. 61, comma 3, lett. c) - D.Lgs. 230/95 e s.m.i.]. Esse dovranno essere sempre consultabili nei luoghi frequentati dai lavoratori ed, in particolare, all'ingresso del cantiere, nonché contenere almeno le indicazioni di seguito riportate.

## **PROCEDURE DA ATTUARE NELLA NORMALE ATTIVITA' LAVORATIVA**

**per i Lavoratori, Dipendenti terzi e Visitatori**

**È VIETATO L'ACCESSO**

**AL CANTIERE**

**A PERSONALE NON AUTORIZZATO**

Il Personale della DITTA APPALTATRICE è tenuto ad osservare e fare osservare le seguenti disposizioni di radioprotezione e sicurezza:

1. Prima di accedere alle aree di lavoro munirsi di dosimetro personale TLD e indossare gli indumenti di lavoro e protettivi assegnati (tuta, guanti, scarpe di sicurezza, soprascarpe, copricapo, ecc.);
2. Non lavorare, senza l'autorizzazione del Direttore dei Lavori, al di fuori dei normali orari di lavoro e, comunque, mai da soli;
3. Utilizzare in modo corretto ed avere cura dei dispositivi di protezione assegnati e dei dosimetri personali;
4. Segnalare immediatamente al Direttore dei Lavori qualsiasi malfunzionamento o deterioramento dei sistemi di prevenzione, protezione e sicurezza, nonché altre condizioni di pericolo di cui si viene a conoscenza;
5. Non cedere o prestare il dosimetro ad altre persone né utilizzarlo al di fuori delle aree di cantiere;
6. Non fumare e non assumere cibi e bevande durante il lavoro;
7. Verificare, prima di uscire dal cantiere, il livello di contaminazione su mani, indumenti, scarpe, ecc..;
8. Non usare telefoni cellulari, quaderni, manuali, strumenti e altri oggetti quando si indossano i guanti da lavoro;
9. Non toccare oggetti, strumenti, in caso di sospetta o accertata contaminazione, fare riferimento alle norme in caso di contaminazione.

### **Dispositivi di protezione individuale (DPI)**

Sulla base delle valutazioni del rischio da esposizione alle radiazioni ionizzanti per i lavoratori addetti al cantiere, non sono previsti specifici sistemi di sicurezza e protezione se non quelli di controllo dei livelli di esposizione e di contaminazione. Tuttavia, nel presente paragrafo si descrivono i dispositivi di protezione individuali (DPI) che, per rischi di tipo convenzionale in relazione alle specifiche operazioni, l'appaltatore deve predisporre e rendere costantemente funzionanti ed efficienti, per la sicurezza e protezione dei lavoratori dal rischio - ancorché basso - di esposizione e contaminazione alle radiazioni ionizzanti.

#### Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)

Il personale addetto alle attività di caratterizzazione radiologica dovrà essere dotato dei **dispositivi di protezione individuale** suddivisi tra quelli di livello base (da utilizzare sempre prima di entrare nelle aree di lavoro), e specifici (da utilizzare per lavori pericolosi su prescrizione), qui di seguito elencati:

- indumenti di protezione di livello base (da utilizzare sempre prima dell'accesso nelle aree di lavoro)
  - elmetto protettivo in polycarbonato o polietilene HD
  - scarpe di sicurezza con punta rinforzata e copri-scarpe
  - guanti protettivi in lattice
  - tuta in cotone
  - copricapo in cotone
- indumenti di protezione specifici (da utilizzare su prescrizione) in aggiunta o sostituzione di quelli base
  - guanti protettivi in vinile
  - occhiali di protezione
  - mascherina di protezione del tipo FFP1
  - tuta in tyvek

## Segnaletica di sicurezza

Una misura di prevenzione dai rischi è costituita dall'utilizzo della **segnaletica di sicurezza** per informare i lavoratori e le persone del pubblico dei divieti, pericoli, avvertimenti e misure di salvataggio presenti nelle diverse aree di lavoro. Per quanto riguarda i cartelli utilizzati per i rischi convenzionali si rimanda ad altre relazioni (piani di sicurezza e coordinamento) mentre, si riporta qui di seguito la segnaletica da adottare, se necessario, come misura di prevenzione dal rischio radiologico.

		
<b>rischio radiazioni ionizzanti</b>	<b>rischio di irradiazione</b>	<b>rischio di contaminazione</b>
<b>VIETATO L'ACCESSO A PERSONALE NON AUTORIZZATO È OBBLIGATORIO L'USO DEL DOSIMETRO INDIVIDUALE</b>		

Infine, si ricorda che al fine di proteggere i lavoratori è necessario che qualsiasi materiale, attrezzatura, contenitore, ecc.. con valori di irraggiamento esterno e/o contaminazione superiori a quelli di fondo deve essere adeguatamente segnalato con apposito cartello che indichi oltre al rischio (irraggiamento e/o contaminazione) anche il livello di irraggiamento e contaminazione misurato, nonché la firma e la data di chi ha effettuato le misure; la delimitazione dell'area andrà fatta con paletti ed apposito nastro.

	
<b>CARTELLI PER SEGNALARE MATERIALI RADIOATTIVI IN CORSO DI LAVORAZIONE</b>	<b>NASTRO PER SEGNALARE E DELIMITARE AREE IN CUI È PRESENTE MATERIALE RADIOATTIVO</b>

## Procedura di controllo degli accessi al cantiere

### PUNTI DI ACCESSO AL CANTIERE

Sono previsti **N. 2 punti di accesso al cantiere** (vedi TAV. 3) come qui di seguito specificato:

- N. 1 cancello recinzione (nord-ovest): ingresso/uscita materiali, mezzi, attrezzature, ecc..
- N. 1 porta recinzione (nord-ovest): ingresso/uscita personale interno ed esterno.

Pertanto, **è previsto un percorso obbligato di ingresso/uscita per il personale** mentre, il cancello delle recinzione verrà utilizzato esclusivamente per l'ingresso/uscita di materiali e mezzi.

### PERSONALE CHE PUÒ ACCEDERE ALLE AREE DI LAVORO

L'**accesso del personale alle aree di lavoro** sarà regolamentato, cioè consentito solo a persone che per motivi di lavoro hanno necessità di accedere nelle aree; essi, inoltre, dovranno essere espressamente autorizzati dal Datore di Lavoro (DL) o dal suo preposto (Direttore dei Lavori - DL).

Il personale autorizzato ad accedere nelle aree di lavoro sarà indicato in un **elenco** firmato dal Direttore dei Lavori, che dovrà essere costantemente e periodicamente aggiornato, ed affisso all'esterno del punto di accesso.

### MODALITÀ DI ACCESSO DEL PERSONALE ALLE AREE DI LAVORO

Le modalità di **accesso (ingresso/uscita) alle aree di lavoro** che dovranno essere seguite da qualsiasi persona e controllate dall'addetto alla radioprotezione operativa, sono le seguenti:

#### a) lavoratori addetti alle attività di caratterizzazione radiologica

##### → INGRESSO

- recarsi nello spogliatoio (lato pulito), lasciare nell'armadietto gli indumenti personali, indossare gli indumenti di lavoro ed il dosimetro personale;
- entrare nel cantiere attraverso la zona filtro per indossare gli indumenti protettivi assegnati (scarpe di sicurezza, tuta in cotone o tyvec, mascherine, guanti, ecc..).

##### ← USCITA

- effettuare il controllo della contaminazione su mani, scarpe ed indumenti protettivi (tuta) per mezzo del monitor portatile, installato all'esterno dello spogliatoio (lato sporco);
- entrare (se il controllo ha dato assenza di contaminazione superficiale) nella zona filtro (lato sporco) per togliersi gli indumenti e dispositivi di protezione (scarpe di sicurezza, tuta, ecc..) gettando nell'apposito contenitore "materiali puliti" quelli del tipo usa e getta;
- recarsi nello spogliatoio freddo, lasciare nell'armadietto gli indumenti di lavoro ed il dosimetro personale, prelevare ed indossare gli indumenti personali.

**!! IN CASO DI CONTAMINAZIONE SEGUIRE LA SEGUENTE PROCEDURA !!**

### Modalità di comportamento in caso di contaminazione superficiale

Il personale che, a seguito del controllo di contaminazione superficiale previsto in uscita dal cantiere, risultasse positivo dovrà comportarsi come segue:

#### **allarme al controllo con monitor portatile**

- ripetere la misura per verificare che non si tratti di un falso allarme ed individuare la parte contaminata (mani, scarpe e/o vesti); se l'allarme è confermato procedere come segue:
- avvertire il responsabile e gli addetti alla sicurezza e radioprotezione operativa;
- contaminazione mani e/o testa: lavare la parte interessata nel lavabo caldo, ubicato vicino agli spogliatoi, utilizzando se necessario il kit di decontaminazione (spazzola a setole morbide, pasta, ecc..), eseguire un nuovo controllo di contaminazione, procedere fino alla totale decontaminazione;
- contaminazione indumenti DPI: togliersi i dpi contaminati, avendo cura di non spargere la contaminazione, e depositarli nell'apposito contenitore "materiali contaminati"; eseguire un controllo di contaminazione sugli indumenti da lavoro sottostanti e, se positivo, procedere come al punto precedente, in caso di contaminazione procedere alla decontaminazione.

**IN CASO NON SI RIUSCISSE A RAGGIUNGERE UN ADEGUATO LIVELLO DI DECONTAMINAZIONE (VALORI ASSIMILABILI A QUELLI DEL FONDO NATURALE) AVVERTIRE IL MEDICO COMPETENTE.**

## **Procedura di controllo per la movimentazione materiali attraverso il punto di accesso**

### **PUNTI DI ACCESSO ALLE AREE DI LAVORO**

Sono previsti **N. 2 punti di accesso al cantiere** (vedi TAV. 3) come qui di seguito specificato:

- N. 1 cancello recinzione (nord-ovest): ingresso/uscita materiali, mezzi, attrezzature, ecc..
- N. 1 porta recinzione (nord-ovest): ingresso/uscita personale interno ed esterno.

Pertanto, la **movimentazione (ingresso/uscita) dalle aree di lavoro di materiali, mezzi ed attrezzature, dovrà avvenire esclusivamente attraverso il cancello della recinzione.**

### **MATERIALI MOVIMENTATI (INGRESSO/USCITA) DALLE AREE DI LAVORO**

L'**ingresso** di qualsiasi materiale, attrezzatura, ecc.. nel cantiere sarà attentamente valutato, poiché esiste la possibilità di una contaminazione radioattiva su detti materiali.

L'**uscita** di qualsiasi materiale, attrezzatura, ecc.. dalle aree di lavoro sarà preceduta da un controllo di contaminazione da parte dell'EQ, che permetterà l'uscita dei materiali e, nel caso di attrezzature di proprietà di terzi, rilascerà apposito **attestato di assenza di contaminazione.**

Il suddetto attestato, che deve accompagnare ed essere redatto per ogni materiale in uscita di proprietà di terzi, deve riportare almeno le seguenti informazioni:

- data del controllo
- descrizione (volume, peso, ecc..) del materiale/attrezzatura sottoposto a controllo
- nome e qualifica dell'operatore che ha effettuato il controllo
- strumento di misura utilizzato
- valori misurati
- dichiarazione di assenza di contaminazione fissa e/o trasferibile;  
il criterio da adottare è:  $\beta, \gamma < 0,4 \text{ Bq/cm}^2$  -  $\alpha < 0,04 \text{ Bq/cm}^2$ .

Nel caso in cui si dovessero rilevare valori di contaminazione fissa e/o trasferibile non trascurabili (vedi criterio sopra riportato), si deve procedere alla decontaminazione degli stessi per mezzo di panni inumiditi con liquido decontaminante, che alla fine delle operazioni andranno gettati nel fustino "rifiuti radioattivi solidi", e ad una nuova verifica sull'efficacia del processo di decontaminazione.

Nel caso in cui non fosse possibile decontaminare l'attrezzatura, il materiale, ecc.. si dovrà apporre sulla stessa, in maniera indelebile, il segnale di pericolo contaminazione radioattiva ed un cartellino che indichi il livello di contaminazione. L'attrezzatura, se necessario e con le dovute cautele, potrà essere utilizzata fino alla fine dei lavori, a conclusione dei quali dovrà essere smaltito come rifiuto radioattivo.

### **RIFIUTI RADIOATTIVI IN USCITA DALLE AREE DI LAVORO**

I **rifiuti radioattivi** eventualmente prodotti durante i lavori, prima di uscire dalle aree di lavoro, devono essere confezionati e caratterizzati secondo le procedure indicate dalla ditta che si occuperà del ritiro e smaltimento.

I **rifiuti radioattivi** saranno confezionati all'interno di appositi contenitori omologati (fusti da 30, 60 o 200 litri) forniti dalla ditta incaricata dello smaltimento, su cui sarà applicato un **attestato di caratterizzazione** che deve riportare almeno le seguenti informazioni:

- data caratterizzazione
- tipologia rifiuto (materiale, peso, ecc..)
- provenienza del rifiuto
- nome e qualifica dell'operatore che ha effettuato la caratterizzazione
- strumento di misura utilizzato
- valori misurati: rateo di dose a contatto del fusto e a 1 m dalla superficie esterna del fusto
- dichiarazione di assenza di contaminazione trasferibile sulla superficie esterna del fusto;  
il criterio da adottare è:  $\beta, \gamma < 0,4 \text{ Bq/cm}^2$  -  $\alpha < 0,04 \text{ Bq/cm}^2$ .

Prima di autorizzare il ritiro da parte della ditta incaricata (ex D.Lgs. 230/95 e s.m.i.), il DL deve verificare che l'EQ abbia effettuato le verifiche su quanto indicato nell'attestato ed autorizzare il trasporto.

### 5.3 GESTIONE DEI RIFIUTI

Nel corso dei lavori di caratterizzazione radiologica dell'area è prevista la produzione delle seguenti tipologie di residui e/o rifiuti:

- 1) residui/rifiuti liquidi
  - 1.a) acqua di falda emunta dai pozzi piezometrici o acque superficiali del laghetto;
  - 1.b) acqua di falda o superficiale dei campioni conservati in cantiere per ulteriori controlli;
  - 1.c) acque bianche dei servizi igienici del cantiere;
  - 1.d) acque nere dei servizi igienici del cantiere;
  - 1.e) acque di scarico del lavabo utilizzato per le operazioni di decontaminazione radioattiva in caso di incidente.
- 2) residui/rifiuti solidi
  - 2.a) terreno di risulta dei sondaggi;
  - 2.b) terreno, limo/sedimenti, vegetali, ecc.. dei campioni conservati in cantiere per ulteriori controlli;
  - 2.c) materiali consumabili vari (fustelle in PVC, carta, stracci, teli in polietilene, tute, guanti, calzari, mascherine, ecc..).

Ad eccezione dei rifiuti liquidi di cui ai punti 1.c) e 1.d) sicuramente non radioattivi, infatti sono ubicati nel lato pulito del box spogliatoio, e di quelli di cui al punto 1.e), invece sicuramente radioattivi e per i quali è previsto un sistema di raccolta e stoccaggio *ad hoc* (fusto da 30 litri per liquidi radioattivi fornito da ditta autorizzata alla raccolta, trasporto e smaltimento di rifiuti radioattivi ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.), i residui/rifiuti di cui ai punti 1.a), 1.b), 2.a), 2.b) e 2.c), tenuto conto sia delle attività previste che delle caratteristiche delle aree in cui si andrà ad operare, potrebbero risultare contaminati superficialmente e/o in massa con materiali NORM. Questi ultimi saranno, allo scopo di verificarne la contaminazione radioattiva, sottoposti ai controlli, da parte dell'Esperto Qualificato e/o del Laboratorio incaricato della analisi radiometriche, qui descritti:

- controlli radiologici ai fini dell'allontanamento dei materiali, effettuati a cura dell'esperto qualificato: misura della contaminazione superficiale alfa-totale e beta/gamma-totale e verifica del rispetto dei seguenti limiti per il rilascio incondizionato (da soddisfare entrambi):
  - **$\alpha$ -emettitori:**  $< 0,04 \text{ Bq/cm}^2$
  - **$\beta/\gamma$ -emettitori:**  $< 0,4 \text{ Bq/cm}^2$ .
- controlli radiologici ai fini dell'allontanamento dei materiali, effettuati a cura del laboratorio incaricato: misura della concentrazione di attività dei radionuclidi di interesse e verifica del rispetto dei seguenti limiti per il rilascio incondizionato (da soddisfare entrambi):
  - **D.Lgs. 230/95 e s.m.i.:**  $< 1 \text{ Bq/g}$  (per tutti i materiali e tutti i radionuclidi);
  - **RP 122 - Part II:** solo materiali solidi e per i seguenti radionuclidi (vale la regola della sommatoria):  
Ra-226+:  $< 0,5 \text{ Bq/g}$ , Pb-210+:  $< 5 \text{ Bq/g}$  e Po-210:  $< 5 \text{ Bq/g}$ .

Sulla base di quanto fin qui descritto, i materiali possono essere classificati nelle tipologie seguenti, per ciascuna delle quali sono indicate le modalità di gestione:

- 1) materiali non contaminati (a seguito di misure radiometriche effettuate dall'EQ o da laboratorio): verranno raccolti e stoccati in appositi contenitori, caratterizzati dal punto di vista fisico-chimico e quindi smaltiti nel rispetto del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.;
- 2) materiali solidi contaminati superficialmente (a seguito di misure radiometriche effettuate dall'EQ): saranno raccolti e stoccati in appositi fustini, e smaltiti tramite conferimento a ditta autorizzata nel rispetto del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.
- 3) materiali contaminati in massa (a seguito delle analisi radiometriche effettuate dal laboratorio): in questo caso sono previste due alternative:
  - 3.a) materiali solidi con valori inferiori ai limiti di rilascio incondizionato (D.Lgs. 230/95 e RP 122-II): saranno raccolti e stoccati in appositi contenitori, e smaltiti nel rispetto del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.;
  - 3.b) materiali liquidi o solidi con valori superiori ai limiti di rilascio incondizionato (D.Lgs. 230/95 s.m.i. e RP 122 - Parte II): saranno raccolti e stoccati in appositi fustini, e smaltiti tramite conferimento a ditta autorizzata nel rispetto del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.

Infine, le attività di caratterizzazione prevedono lo stoccaggio temporaneo (sino all'ottenimento dei risultati delle analisi di laboratorio) dei campioni di ciascuna matrice ambientale (terreno, acqua e vegetali) all'interno di n. 2 box di deposito a disposizione per eventuali ulteriori controlli.

Questi, una volta ottenuti i risultati delle analisi radiometriche di laboratorio, verranno gestiti secondo una delle modalità di cui ai punti precedenti.

I depositi non dovranno essere dotati di particolari dispositivi di sicurezza convenzionale (allarmi anti-incendio, sistemi di spegnimento, ecc..), sarà invece necessario garantire adeguate soluzioni per favorire lo scarico delle acque meteoriche per tutta la durata del deposito e nello stesso tempo limitare al massimo la diffusione dell'umidità dal terreno. Non è necessario procedere ad una classificazione delle aree delimitate dai box ai fini della radioprotezione; l'accesso dovrà, comunque, essere regolamentato ed impedito a personale non autorizzato.

# SEZIONE VI

---

## VI - ALLEGATI

## **ALLEGATO A: ELENCO ELABORATI**

- A. Relazione tecnica generale**
- B. Relazione geologica**
- C. Relazioni specialistiche**
  - C.1 Metodiche di esecuzione dei carotaggi**
  - C.2 Metodiche di estrazione, conservazione e trasporto campioni di terreno**
  - C.3 Metodiche di prelievo, conservazione e trasporto di campioni di acqua**
  - C.4 Metodiche di campionamento e analisi sostanze vegetali**
  - C.5 Metodiche di determinazione di radionuclidi in acqua e terreno**
- D. Piano di Sicurezza e Coordinamento**
- E. Cronoprogramma**
- F. Computo Metrico Estimativo**
- G. Elenco prezzi unitario**
- H. Computo metrico oneri di sicurezza**
- I. Elenco prezzi unitari sicurezza**
- J. Analisi nuovi prezzi (J.1 Analisi nuovi prezzi, J.2 Analisi nuovi prezzi sicurezza)**
- K. Fascicolo dell'opera**
- L. Piano di manutenzione**
- M. Capitolato Speciale d'Appalto e schema di contratto**
- N. Schema bando di gara e disciplinare**
- O. Quadro economico**
  - **Tavola 1: Corografia di inquadramento**
  - **Tavola 2: Documentazione fotografica**
  - **Tavola 3: Lay-out di cantiere**
  - **Tavola 4: Piste di cantiere e attraversamenti**
  - **Tavola 5: Planimetria sondaggi e piezometri**



## ALLEGATO B: RIFERIMENTI

### DOCUMENTI CONSORZIO ASI POTENZA

- 1) Commissione Tecnica Prefettizia, istituita con decreto n. 14972 del 27 marzo 2014 del Prefetto di Potenza, *“Valutazione finale dei piani di caratterizzazione radiologica e di monitoraggio ambientale predisposti dal Consorzio ASI”*, 27 marzo 2015.
- 2) ASI Potenza; Regione Basilicata; *“Area ex Liquichimica - Relazione sullo stato di conservazione della vasca fosfogessi”*; agosto 2009.
- 3) Metapontum Agrobios; Regione Basilicata; *“Rapporto relativo alla caratterizzazione di suolo, sottosuolo e acque di falda finalizzata agli interventi di bonifica della ex Liquichimica di Tito Scalo - Rapporto Finale”*; gennaio 2009.
- 4) A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; *“Relazione N. R21/12 del 16/01/2013: Controlli radiometrici presso ex Liquichimica - Zona Industriale Tito Scalo (PZ) - Area Fosfogessi - 1° Rapporto”*; 2013.
- 5) A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; *“Relazione N. R11/13 del 06/06/2013: Controlli radiometrici presso ex Liquichimica - Zona Industriale Tito Scalo (PZ) - Area Fosfogessi - 2° Rapporto”*; 2013.
- 6) A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; *“Relazione N. R20/13 del 18/10/2013: Controlli radiometrici presso ex Liquichimica - Zona Industriale Tito Scalo (PZ) - Area Fosfogessi - 3° Rapporto”*; 2013.
- 7) A.R.P.A.B. - Ufficio Centro Regionale Radioattività; *“Relazione N. R24/2014 del 16/09/2014: Esito dei controlli radiometrici presso SIN di Tito Scalo, all'esterno dell'ex-stabilimento Liquichimica e in alcune aree interne”*; 2014.
- 8) A. Cassiano; *“Scansione radiometrica dell'area discarica fosfogessi nel sito ex Liquichimica”*; novembre 2014.
- 9) NUCLECO S.p.A.; *“Analisi spettrometriche gamma su n. 3 campioni di fosfogesso prelevati nella discarica dell'ex Liquichimica”*; novembre 2014.
- 10) ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia; *“Sito ex Liquichimica di Tito Scalo (PZ) - Piano di caratterizzazione radiologica: Proposta per la determinazione dei valori di fondo radiologico nei terreni e nelle acque sotterranee”*; novembre 2004.

### NORMATIVA NAZIONALE

- 11) **Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230**, *“Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti”*, così come modificato dal **Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241**, *“Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti”*, successivamente integrato e corretto dal **Decreto Legislativo 9 maggio 2001, n. 257** modificato dal **Decreto Legislativo 20 febbraio 2009, n. 23**, *“Attuazione della direttiva 2006/117/EURATOM, relativa alla sorveglianza e al controllo delle spedizioni di rifiuti radioattivi e di combustibile nucleare esaurito”*, quest'ultimo integrato e corretto dal **D.Lgs. 1 giugno 2011, n. 100**.
- 12) **Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31**, *“Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano”*, Gazzetta Ufficiale n. 52 del 3 marzo 2001 - Supplemento Ordinario n. 41.

### COMMISSIONE EUROPEA

- 13) European Commission. *Radiation Protection 122 - Part II: “Practical use of the concepts of clearance and exemption - Part II, Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources”*, RP 122 - Part II, 2001.
- 14) Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996 laying down *basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation*. Official Journal of the European Communities L 159 of 29 June 1996.
- 15) DIRETTIVA 2013/51/EURATOM DEL CONSIGLIO del 22 ottobre 2013 che stabilisce *requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano*; Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea L 296/13; 07 novembre 2013.

### NORME UNI

- 16) UNI ISO 20553: *“Protezione dalla radiazioni. Monitoraggio dei lavoratori esposti per motivi professionali al rischio di contaminazione interna da materiale radioattivo”*. Agosto 2009.
- 17) UNI CEI ENV 13005: 2000 - *Guida all'espressione dell'incertezza di misura*.
- 18) UNI CEI EN ISO/IEC 17025: 2005 - *Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura*.
- 19) ISPRA: *“L'analisi di conformità con i valori limite di legge: il ruolo dell'incertezza associata a risultati di misura”*. Manuali e linee guida; 52/2009.