

**Procedimento Penale n. 452/12 RG. GIP**

*Tribunale di Lanusei - Ogliastra*

# **RELAZIONE PERITALE**

**Prof. Chim. Mario Mariani**

*Coordinatore della Sezione di Ingegneria Nucleare  
Dipartimento di Energia - Politecnico di Milano*

**Milano, 3 giugno 2014**

## QUESITO

- I -

Dica il perito se per effetto delle attività militari svolte attualmente o in passato all'interno del poligono si sia determinato un danno all'ambiente avente potenza espansiva e attitudine ad esporre a pericolo collettivamente un numero indeterminato di persone anche all'esterno del poligono medesimo.

Proceda, in particolare, ad analizzare gli elementi chimici in matrici ambientali e biologiche allo scopo di verificare se nell'area del poligono, con particolare riguardo alle aree ad alta intensità militare p2, p3, p4, p5, p6, p7, siano presenti le sostanze chimiche tossiche e le sostanze radioattive di cui al capo d'imputazione e se eventuali valori superiori alla norma siano conseguenza dello svolgimento delle attività militari, così come risultano descritte negli atti del procedimento, o di altra attività antropica.

Dica se il livello di contaminazione eventualmente rilevato sia stato pericoloso dal 2002 al 2011 (fino al sequestro dell'area del PISQ) per la salute, rispettivamente,

- di coloro che lavorano abitualmente all'interno del poligono
- di coloro che accedono all'area con cadenza periodica non in coincidenza con le attività militari
- di coloro che abitano nei comuni limitrofi (in particolare, Escalaplano e Quirra frazione di Villaputzu), tenendo altresì in considerazione le peculiarità orografiche e il contributo causale eventualmente riconoscibile a direzione ed intensità del vento, con particolare riferimento ai brillamenti avvenuti dal 1984 al 2008 in zona torri ed alle sorgenti degli acquedotti di detti centri abitati

Dica se l'eventuale contaminazione rilevata presentasse caratteristiche che la rendessero riconoscibile dal gennaio 2002 al 2011 e, in caso affermativo, indichi a quale livello di conoscenza.

Indichi, inoltre, quali accorgimenti avrebbero evitato la causazione dei danni all'ambiente e il pericolo per la salute delle categorie di persone sopra elencate.

- II -

Dica il perito se lo studio geochimico commissionato dal Ministero della Difesa al Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena come da convenzione in data 12 dicembre 2002, sia stato condotto secondo criteri e metodologie conformi a quelle comunemente indicate dalla letteratura e dalla comunità scientifica, verificando altresì la congruità delle analisi svolte, anche alla luce dei rilievi critici svolti sul punto dal C.T. del Pubblico Ministero, dott. Lodi Rizzini e avuto riguardo alle previsioni di cui alla convenzione sopra richiamata.

In caso negativo, dica se la divergenza tra i criteri seguiti e quelli indicati dalla miglior scienza ed esperienza sia tale da evidenziare coscienza e volontà degli imputati di agire allo scopo di ottenere esiti non corrispondenti alla effettiva realtà dei fatti.

Dica inoltre se per le scelte metodologiche adottate o per i risultati ottenuti, l'eventuale inattendibilità della indagine condotta Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena fosse riconoscibile e, in caso affermativo, indichi a quale livello di conoscenza.

Svolga il perito identica valutazione in ordine alla relazione svolta dagli imputati Nobile e Fasciani su incarico di NATO-NAMSA, tenendo conto dei rilievi critici svolti in ordine alla stessa dai c.t. del Pubblico Ministero Lodi Rizzini (perizia 07.02.2012, p. 3791 e ss.) e Farci (*Considerazioni sulla Documentazione SGS* 27 febbraio 2012, p. 4792), nonché dal Dipartimento Specialistico Regionale Geologico dell'ARPAS (*Programma di monitoraggio ambientale del poligono interforze del Salto di Quirra- Rielaborazione dei dati del lotto 3, p.4918 e ss.*) e avuto riguardo alle prescrizioni dettate dal capitolato tecnico del contratto di appalto.

Dica, in particolare, se erano rilevabili anomale quantità di torio nel terreno dagli esiti delle analisi dell'Università di Siena ed anomale quantità di torio ed uranio dagli esiti delle analisi delle matrici animali fatte da SGS.

## **Introduzione**

L'attività peritale, condotta in seguito all'incarico ricevuto in data 11/03/2013 (verbale di udienza preliminare del 11/03/2013 relativa al Procedimento Penale n. 452/12 RG. GIP) concernente il complesso e articolato quesito riportato, si è sviluppata nel corso di un anno circa a partire dal 2 maggio 2013, con la convocazione della prima riunione Periti e Parti presso il Politecnico di Milano. L'attività collegiale, che ha sempre visto la partecipazione numerosa e molto attiva dei Consulenti Tecnici di Parte (CTP) e dei loro Assistiti, si è articolata in successive riunioni che, da maggio 2013 a ottobre 2013, hanno affrontato e discusso le diverse problematiche relative ai vari punti richiamati dal quesito. In particolare, gran parte della attività collegiale ha affrontato strategie, metodi e fasi operative relative ai nuovi campionamenti suoli, acque e matrici biologiche e successiva determinazione dei diversi analiti utili agli scopi della perizia. Nel corso delle diverse riunioni, i cui resoconti sono riportati nel dettaglio all'interno della cartella *Resoconto Riunioni Periti* (files con la data di riferimento), ciascuna delle Parti ha avuto modo di esprimere il proprio pensiero e le proprie richieste in modo da giungere sempre a proposte che fossero ampiamente condivise e che potessero garantire a ciascuno di fare piena luce sui diversi aspetti che direttamente o indirettamente potevano contribuire a chiarire meglio la propria posizione all'interno del Procedimento in corso. Naturalmente, il Consulente Tecnico di Ufficio (CTU) è intervenuto e ha contribuito sempre alla mediazione qualora le richieste di Parte non permettessero il rispetto delle tempistiche e/o dei criteri di razionalità ed economicità necessari per il buon sviluppo delle attività. Sommarariamente, le riunioni del 2 maggio e del 19 giugno hanno contribuito a definire le aree oggetto d'indagine, le strategie ed i metodi di campionamento, i parametri analitici da determinare nelle diverse matrici raccolte, le tecniche analitiche strumentali e le metodiche di riferimento da impiegare. Il numero complessivo dei campioni da raccogliere è stato concordato dal CTU con il GUP dr. Nicola Clivio che aveva indicato di prelevare un centinaio (o poco più) di campioni di suolo e di effettuare quattro o cinque sondaggi ambientali con carotaggi. I dettagli relativi a scelta dei siti di campionamento, modalità, n° di campioni per sito, tecniche di raccolta campioni,

conservazione, trattamento, preparazione e analisi sono riportati nella cartella *Resoconto Riunioni Periti* e nei files relativi al 19 giugno e al 10 luglio.

Le attività di campionamento nelle aree interne ed esterne al Poligono a terra di Perdasdefogu e al Poligono a mare di Capo San Lorenzo, svolte nel periodo 10-18 luglio 2013, sono dettagliatamente riportate nel file *Attività di campionamento* che si trova nella medesima cartella.

Le successive riunioni avvenute tra settembre e ottobre (cfr. cartella *Resoconto Riunioni Periti*) hanno contribuito ad individuare i) le metodiche di preparazione dei campioni di suolo in vista delle successive analisi, ii) i metodi standard di riferimento per la determinazione dei parametri di interesse e iii) le metodiche analitiche e strumentali utili per la determinazione dei diversi analiti. Il giorno 4 ottobre (cfr. file *Verbale Apertura Campioni*, medesima cartella), alla presenza di alcuni Periti, del personale del Politecnico di Milano e del CTU è avvenuta la formale procedura di apertura dei campioni di suoli, acque e cassette di carotaggio, dopo la quale è stato dato inizio alla fase di analisi secondo quanto concordato durante le precedenti riunioni collegiali.

## QUESITO

- I -

Dica il perito se per effetto delle attività militari svolte attualmente o in passato all'interno del poligono si sia determinato un danno all'ambiente avente potenza espansiva e attitudine ad esporre a pericolo collettivamente un numero indeterminato di persone anche all'esterno del poligono medesimo.

Proceda, in particolare, ad analizzare gli elementi chimici in matrici ambientali e biologiche allo scopo di verificare se nell'area del poligono, con particolare riguardo alle aree ad alta intensità militare p2, p3, p4, p5, p6, p7, siano presenti le sostanze chimiche tossiche e le sostanze radioattive di cui al capo d'imputazione e se eventuali valori superiori alla norma siano conseguenza dello svolgimento delle attività militari, così come risultano descritte negli atti del procedimento, o di altra attività antropica.

Dica se il livello di contaminazione eventualmente rilevato sia stato pericoloso dal 2002 al 2011 (fino al sequestro dell'area del PISQ) per la salute, rispettivamente,

- di coloro che lavorano abitualmente all'interno del poligono
- di coloro che accedono all'area con cadenza periodica non in coincidenza con le attività militari
- di coloro che abitano nei comuni limitrofi (in particolare, Escalaplano e Quirra frazione di Villaputzu), tenendo altresì in considerazione le peculiarità orografiche e il contributo causale eventualmente riconoscibile a direzione ed intensità del vento, con particolare riferimento ai brillamenti avvenuti dal 1984 al 2008 in zona torri ed alle sorgenti degli acquedotti di detti centri abitati

Dica se l'eventuale contaminazione rilevata presentasse caratteristiche che la rendessero riconoscibile dal gennaio 2002 al 2011 e, in caso affermativo, indichi a quale livello di conoscenza.

*Omissis...*

# **CAMPAGNA ANALITICA LUGLIO 2013 – MAGGIO 2014**

## **Campionamento e analisi suoli**

### **Campionamento suoli e preparazione del campione**

#### **Materiali e attrezzature**

GPS satellitare,  
pale, picconi, cazzuole, sacchetti di polietilene, materiali per etichettatura  
bilancia tecnica,  
setacci a maglia certificata da 2 cm e 2 mm, attrezzatura per omogeneizzazione e quartatura  
mulino con giara e sfere di agata Retsch PM100,  
contenitori in polietilene con tappo e sottotappo

#### **Prelievo del campione di suolo**

Il campione di “*top soil*”, privo di parti vegetali o altre parti organiche, è stato prelevato da ciascuna squadra preposta al campionamento in quantità totale di circa 3 – 5 kg, alla profondità e nello

spessore precedentemente concordati in ambito collegiale. Il campione prelevato, raccolto in sacchetti di polietilene opportunamente etichettati e chiusi in loco, è stato fotografato. Per ciascun campione è stata compilata una scheda riportante la sigla di identificazione, le coordinate GPS e, per quanto possibile, una breve descrizione relativa alla morfologia, alla litologia e alle caratteristiche del sito di prelievo. Le coordinate GPS dei punti di campionamento sono state impiegate per costruire un file .kmz utilizzato per localizzare i punti di prelievo mediante Google Earth. (cfr. cartella *Dati Cartografici e Campionamenti*, file *Punti Campionamento.kmz* e file *Coordinate Punti Campionamento*).

I sondaggi ambientali effettuati nell'area P5-Torri-Brillamenti, mediante carotaggio nel sito prescelto e alla profondità di volta in volta concordata con i Consulenti Tecnici di Parte presenti, hanno prodotto diverse carote di terreno composte nelle apposite cassette e classificate, che sono state successivamente oggetto dell'analisi stratigrafica condotta da geologi dell'Università di Milano. L'analisi stratigrafica ha permesso di individuare alle diverse profondità di ciascun sondaggio la porzione di carota di potenziale interesse analitico. Il campione destinato all'analisi, di peso complessivo non inferiore ad 1 kg, è stato ricavato dalla zona interna (*core*) della porzione individuata (cfr. cartella *Relazioni Consulenze*, file *Relazione Stratigrafica Carotaggi Geologi Moroni e Zerboni*).

### **Preparazione del campione**

Tutti i campioni, di *top soil* e quelli prelevati dalle carote, sono stati setacciati a 2 cm e poi a 2 mm, pesando ogni volta mediante bilancia tecnica le frazioni separate al fine di quantificare lo scheletro del terreno per i calcoli nelle valutazioni analitiche successive. In tutte le operazioni di manipolazione del campione sono stati impiegati attrezzi in materiale plastico, al fine di evitare la contaminazione dei terreni con metalli. Si è proceduto quindi ad omogeneizzare l'intero campione setacciato e successivamente, mediante il metodo della quartatura, è stata ottenuta una frazione rappresentativa del suolo di circa 100 g, posta poi in un contenitore in polietilene opportunamente etichettato (cfr. cartella *Metodi Analitici*, file *Metodi Campionamento Quartatura...*). La frazione di terreno ottenuta è stata poi finemente polverizzata in mulino meccanico con giara e sfere di agata e raccolta in opportuno contenitore etichettato per la successiva fase analitica.

### **Determinazione dell'umidità del campione**

L'umidità presente in ciascun campione è stata determinata per differenza di peso (con una bilancia analitica) dopo essiccamento di una aliquota del suolo preparato in stufa a 110°C per una notte.

## **Analisi degli Elementi/Isotopi nel campione di suolo in ICP-MS-Q**

### **Materiali e apparecchiature**

bilancia analitica Gibertini E42,  
micropipette Eppendorf,  
sistema di produzione acqua ultrapura Millipore-MilliQ  
forno a microonde Anton-Paar Multiwave 3000,  
ICP-MS THERMO X Series-II, dotato di sistema a cella di collisione per l'eliminazione di interferenti.

### **Reagenti**

acqua ultrapura, 18,2 M $\Omega$ ,  
acidi ultrapuri certificati Analytika,  
suoli di riferimento: NIST-SRM San Joaquin 2709a, due suoli accertati forniti da UNICHIM (1 e 2)

soluzioni standard certificate Inorganic Venture CMS-1/5 MSHGN.

### **Mineralizzazione del campione**

L'attacco del campione di suolo è stato condotto in vessel di PTFE con trattamento termico in forno a microonde, secondo quanto indicato nella metodica EPA-3052 (cfr. cartella *Metodi Analitici*, file *EPA 3052*) e concordato con i Periti al fine di un possibile confronto con i dati SGS ottenuti con la stessa metodica. Una frazione di circa 0.4 g di ciascun campione di suolo finemente polverizzato, esattamente pesati, è stata trattata con una miscela triacida di acido nitrico, fluoridrico e cloridrico concentrati ultrapuri, aggiunti nelle quantità rispettivamente di 9, 3 e 2 mL misurati con micropipette tarate. La procedura di attacco del campione è stata condotta inserendo un vessel contenente la sola miscela acida (bianco-acidi) per ogni set di campioni mineralizzati, e un vessel contenente un campione di suolo di riferimento (esempio cfr. cartella *Metodi Analitici*, file *NIST 2709A*), al fine di poter effettuare un controllo di qualità interno con adeguata frequenza. Al termine del trattamento in microonde sono stati aggiunti 18 mL di una soluzione di acido borico al 5% per neutralizzare l'eccesso di acido fluoridrico. Il contenuto di ciascun vessel è stato quantitativamente trasferito in recipiente opportuno e diluito al volume di 50 mL con acido nitrico ultrapuro all'1%. Ogni operazione di diluizione è stata controllata mediante pesata con una bilancia analitica.

### **Misura mediante ICP-MS-Q del contenuto elementare/isotopico nel campione di suolo**

Le soluzioni di ciascun campione di suolo sono state opportunamente diluite (1:100) in acido nitrico ultrapuro all'1%, controllando anche mediante pesata il rapporto di diluizione. Le soluzioni così ottenute sono state considerate adeguate in concentrazione per la misura diretta in ICP-MS secondo i criteri della norma EPA 6020A specificamente indicata per le misure delle concentrazioni di elementi con tale tecnica (cfr. cartella *Metodi Analitici*, file *EPA 6020A*). Ogni volta, prima di effettuare la serie di misure sul set di soluzioni in esame, sono state condotte le operazioni previste per ottimizzare le performance dello strumento e per verificare il rispetto delle specifiche di misura (cfr. cartella *Risultati Analitici*, file *Esempio di Performance Report*). Per la determinazione della concentrazione di ciascun elemento presente nei campioni è stata costruita una retta di taratura mediante soluzioni standard certificate con contenuto noto degli elementi di interesse. Per ciascun set di campioni provenienti dallo stesso trattamento in forno a microonde sono stati misurati anche i corrispondenti campioni degli acidi usati nelle mineralizzazioni, opportunamente diluiti e presi come riferimenti (bianco-acidi): i valori misurati nei bianchi sono stati sottratti ai valori ottenuti nei campioni. Al fine di effettuare il controllo di qualità interno della procedura di mineralizzazione sono stati effettuati nel corso della campagna di misura 13 test di confronto sui vari elementi utilizzando 3 diversi suoli standard (uno certificato NIST 2709A e due di contenuto accertato forniti da UNICHIM, Unichim1 e 2). I campioni dei suoli standard sono stati trattati e misurati all'ICP-MS nel corso delle varie procedure di trattamento dei suoli con le stesse modalità descritte. Confrontando le concentrazioni ottenute nelle 13 misure con i valori riportati nei suoli "certificati" è stato possibile valutare il buon andamento dell'attacco e della successiva analisi. I valori medi di scarto derivanti dalle analisi sui suoli standard sono stati riportati e riassunti in una tabella insieme ai valori dei Coefficienti di Variazione percentuali (CV%) del valore per ciascun elemento analizzato (berillio, vanadio, cromo, cobalto, nichel, rame, zinco, arsenico, selenio, zirconio, cadmio, stagno, antimonio, wolframio/tungsteno, mercurio, tallio, piombo, torio e uranio), coefficienti generalmente calcolati nelle campagne analitiche di interconfronto tra più laboratori (cfr. cartella *Risultati Analitici*, file *Resa Recupero e CV%*).

### **Elaborazione dei dati ICP-MS relativi ai suoli**

La misura ICP-MS dei vari elementi/isotopi ha permesso di valutare i limiti relativi a LOD-Limit Of Detection (minima quantità rivelabile) e LOQ-Limit Of Quantification (minima quantità quantificabile/determinabile) per ciascun elemento/isotopo. Qualora il dato della misura risultasse

inferiore ai suddetti limiti, il dato è stato riportato nei risultati con la sigla “ND” (non rilevabile/rivelabile) o “< LOQ” (analita presente ma non valutabile quantitativamente). Per la presa visione dei valori di LOD ed LOQ indicativi per ciascun elemento e dei rispettivi errori relativi percentuali medi stimati nel corso delle diverse misure si veda la cartella *Risultati Analitici*, file *LOD e LOQ*.

I risultati ICP-MS ottenuti per ciascun elemento determinato nel campione sono riportati in un file .xls, nei fogli riferiti alle zone di campionamento, indicati con: P3, P4, P5, P6, P7, SON°- carotaggi (all'interno del Poligono a terra di Perdasdefogu), alfa, H, N (all'interno del Poligono a mare di Capo S. Lorenzo) e F per i punti di campionamento all'esterno del PISQ. Al fine di comprendere il modo con cui sono stati identificati i vari campioni analizzati si faccia riferimento alla cartella *Dati Cartografici e Campionamenti*, contenente i file *Elenco Complessivo 132 Campioni e Elenco 29 Campioni da Carotaggi*. Gli elementi determinati sono quelli previsti dal D.Lgs. 152/06 (All. 5, Tabella 1) che riporta le soglie di contaminazione dei suoli, con eccezione del boro (date le ovvie ragioni dovute alla procedura di mineralizzazione). In aggiunta sono stati determinati zirconio, tungsteno, torio e uranio ed anche il rapporto isotopico uranio-235/uranio-238. Nelle tabelle .xls riportate (cfr. cartella *Risultati Analitici*, file *Analisi ICP-MS Suoli Carotaggi Acque.xls*), i valori che superano la Concentrazione Soglia di Contaminazione – CSC della colonna A-Tabella1-All.5 (relativa a suoli dei siti residenziali) sono evidenziati in giallo, mentre quelli che superano la CSC della colonna B-Tabella 1-All.5 (relativa a suoli dei siti industriali) sono evidenziati in rosso. In tutte le tabelle sono riportati i relativi valori CSC contenuti nel riferimento di Legge (Allegati del D.Lgs. 152/06). Per facilitare la lettura dei numerosi dati, non è stato inserito nelle tabelle l'errore relativo, che invece è stato riportato in altra tabella in termini di errore percentuale relativo stimato per ciascun elemento (cfr. cartella *Risultati Analitici* e file *Errori Percentuali Stimati*).

Una trattazione analitica e statistica mirata è stata impiegata per la valutazione dei Rapporti Isotopici uranio-235/uranio-238 (RI U-235/U-238). A tal fine si veda più avanti in questa Relazione Peritale la parte specificamente dedicata alla determinazione dei rapporti isotopici al fine di valutare la eventuale presenza di uranio depleto (DU) nei suoli interni ed esterni al PISQ.

## **Analisi dei Perclorati in CROMATOGRAFIA IONICA**

Le analisi dei residui di esplosivo (perclorati) sono state condotte sui campioni di suolo riportati nella cartella *Dati Cartografici e Campionamenti*, file *Elenco 37 campioni Scelti*.

### **Metodo**

I perclorati sono stati misurati mediante metodi EPA SW 6850 agg.to 2007, per la parte di preparazione del campione, e EPA 314.1 agg.to 2005, per la parte di analisi strumentale (cfr. cartella *Metodi Analitici* e files *EPA 6850* e *EPA 314.1*).

Il campione è stato estratto mediante ultrasuoni con acqua demineralizzata, con un rapporto L/S pari a 20:1, e sottoposto ad una fase di clean-up su colonne SUPERCLEAN ENVI-18 SPE da 0,5 g (Supelco).

L'analisi è stata condotta con un cromatografo ionico (Metrohm 881 Compact IC Pro) e rivelatore a conducibilità soppressa, adottando le seguenti condizioni analitiche: colonna Metrosep supp 5, lunghezza 150 mm, eluente Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 150 mM, flusso 0,8 ml/min.

Il limite di quantificazione del metodo è pari a 0,15 mg/kg, CV % = 10%.

### **Risultati**

I risultati sono riportati nella cartella *Risultati Analitici*, file *Perclorati\_suoli*.

## **Analisi dei Residui Organici di Esplosivi in HSSPME-GC/MS**

Le analisi dei residui di esplosivo organici sono state condotte sui campioni di suolo riportati nella cartella *Dati Cartografici e Campionamenti*, file *Elenco 37 campioni Scelti*.

### **Metodo di Riferimento**

Metodo ISO 11916-2, “*Soil quality - Determination of selected explosives and related compounds. Part 2: Method using gas chromatography (GC) with electron capture detection (ECD) or mass spectrometric detection (MS)*” (cfr. cartella *Metodi Analitici*, file *Metodo ISO 11916-2*).

### **Strumentazione**

Le analisi sono state effettuate con un sistema GC/MS *ThermoFisher Scientific DSQII* (spettrometro di massa con analizzatore quadrupolare DSQ II, gascromatografo Trace GC Ultra) attrezzato con autocampionatore per Microestrazione in Fase Solida *CombiPAL CTC Analytics*.

Software Xcalibur MS Software Versione 2.1.

Colonna: Rtx-5MS, 30 m x 0.25 mm ID x 0.25 µm spessore film (Restek)

Fibra 65µm Polydimethylsiloxane/Divinylbenzene (PDMS/DVB) (Supelco)

### **Condizioni HSSPME**

Modalità spazio di testa

Temperatura di adsorbimento: 110°C

Tempo di estrazione: 15 min

Temperatura desorbimento: 250°C

Tempo desorbimento: 4 min

### **Condizioni GC**

Gas di trasporto: He, flusso costante 1 mL/min

Iniettore: PTV 250 °C, modalità CT splitless, tempo di splittaggio 4 min, flusso di splittaggio 10 mL/min

Gradiente: 60°C per 1 min, 12°C/min a 240°C per 9 min, 15°C/min a 270°C per 5 min

Linea di trasferimento: 280 °C

### **Condizioni MS**

Sorgente: 250 °C

Modalità di ionizzazione EI 70 eV

Modalità di scansione: full scan

Intervallo di scansione: 35-350 uma

Velocità di scansione: 500 uma/sec

### **Preparazione campioni**

Si trasferisce 1 g di terreno direttamente in un vial da 20 mL per autocampionatore. Si aggiungono 10 µL di una soluzione 21 mg/L di 2,3-Dinitrobenzene (Standard Interno) e 200 µL di acqua. Si termostata a 110°C esponendo la fibra SPME allo spazio di testa del campione per 15 minuti. Al termine dell'estrazione la fibra viene trasferita all'iniettore del gascromatografo per la fase di desorbimento. Prima di ciascuna analisi la fibra viene condizionata per 10 minuti ad alta temperatura (250°C).

### **Soluzione standard**

*Composite Explosive Mixture M-8330-R, 1.0 mg/mL in Metanolo/Acetonitrile (1:1)* contenente: Nitrobenzene, 2-Nitrotoluene, 3-Nitrotoluene, 4-Nitrotoluene, 1,3-Dinitrobenzene, 2,4-Dinitrotoluene, 2,6-Dinitrotoluene, TNT, 1,3,5-Trinitrobenzene, 2-Amino-4,6-dinitrotoluene, 4-Amino-2,6-dinitrotoluene, HMX, RDX, Tetryl.

## **Bianco**

Si analizza, con le stesse modalità descritte per i campioni, lo spazio di testa di un vial da 20 mL vuoto.

## **Risultati**

I risultati sono riportati nella cartella *Risultati Analitici*, file *Risultati Analisi Residui Esplosivi*.

# **Campionamento e analisi acque**

## **Campionamento acque e preparazione del campione**

### **Materiali e attrezzature**

Filtri a membrana - 0.45 micron e siringhe portafiltro,  
contenitori in polietilene,  
micro-pipette Eppendorf,  
bilancia analitica Gibertini E42,  
ICP-MS THERMO X Series-II, dotato di sistema a cella di collisione per l'eliminazione di interferenti.

### **Reagenti**

acqua ultrapura, 18,2 MΩ,  
acido nitrico concentrato ultrapuro certificato Analytika,  
standard analitici certificati Inorganic Venture CMS-1/5 MSHGN.

### **Prelievo del campione di acqua**

I contenitori di polietilene per la raccolta dei campioni sono stati lavati più volte, riempiti con una soluzione di acido nitrico ultrapuro al 5 % e, dopo 24 ore, risciacquati più volte con acqua ultrapura. Una volta asciutti, sono stati sigillati e chiusi in buste di plastica termosaldate.

Durante la campagna analitica sono stati prelevati 7 campioni di acqua indicati con sigle da A-01 a A-07: i) 5 prelevati all'interno del poligono (da A-01 a A-05) e ii) 2 all'esterno, A-06 e A-07 in aree del Comune di Perdasdefogu (cfr. cartella *Dati Cartografici e Punti Campionamenti*, file *Elenco 132 campioni*). L'acqua è stata filtrata sul luogo di raccolta mediante sistema filtro-siringa (0.45 micron) e posta nei contenitori di polietilene opportunamente etichettati. Subito dopo il prelievo, il campione è stato acidificato con acido nitrico ultrapuro in modo da ottenere una concentrazione finale al 3% in acido nitrico, in grado di stabilizzare il campione prelevato. Analogamente, nello stesso luogo del campionamento, è stato preparato il campione di riferimento costituito da acqua ultrapura e acido nitrico ultrapuro al 3%.

## **Analisi degli Elementi nel campione di acqua in ICP-MS-Q**

### **Misura del campione in ICP-MS-Q**

I campioni di acqua sono stati conservati in frigorifero a 4°C fino al momento dell'analisi. La lettura in ICP-MS è stata effettuata sui campioni di acqua diluiti 1:20 con acqua ultrapura all'1% in

acido nitrico ultrapuro. La stessa diluizione è stata operata sui bianchi di riferimento che erano stati preparati in sito e che avevano quindi subito la stessa storia analitica dei campioni.

Prima delle misure ICP-MS sono state effettuate le operazioni di ottimizzazione delle performance strumentali e per verificare il rispetto delle specifiche di misura (vedi cartella *Risultati Analitici*, file *Esempio di Performance Report ICP-MS*). Per la determinazione della concentrazione di ciascun elemento presente nei campioni è stata costruita una retta di taratura mediante soluzioni standard certificate. Successivamente è stata condotta l'analisi dei bianchi di riferimento e delle soluzioni dei campioni diluiti.

### **Elaborazione dei dati ICP-MS relativi alle acque**

Analogamente a quanto detto prima per i Suoli, sono stati determinati i limiti relativi a LOD (minima quantità detettabile/rivelabile) e LOQ (minima quantità determinabile) per ogni singolo elemento. Qualora il dato della misura risultasse inferiore ai limiti, il dato è stato riportato con la sigla "ND" (non detettabile/rivelabile) o " < LOQ " (analita presente ma non valutabile quantitativamente).

Gli elementi cercati sono quelli previsti dal D.Lgs. 152/06 (All. 5, Tabella 2) che riporta le concentrazioni soglia di contaminazione per le acque sotterranee, con l'aggiunta di zirconio, tungsteno, torio e uranio. I dati che superano tali soglie sono evidenziati in giallo.

Analogamente ai Suoli, allo scopo di facilitare la lettura dei dati nelle tabelle non è stato riportato l'errore relativo. Come sopra precisato, l'informazione relativa ai valori di errore % nella determinazione analitica è stata riportata in una specifica tabella con la stima degli errori percentuali per ciascun elemento (cfr. cartella *Risultati Analitici* e file *Errori Percentuali Stimati*).

## **Analisi dei Perclorati in CROMATOGRAFIA IONICA**

### **Metodo**

Il metodo di analisi consiste nell'opportuno trattamento e diluizione del campione e conseguente analisi secondo gli stessi principi adottati nella metodica riportata per i suoli.

### **Risultati**

I risultati sono riportati nella cartella *Risultati Analitici*, file *Perclorati\_acque*.

## **Analisi dei Residui Organici di Esplosivi in HSSPME-GC/MS**

### **Metodo**

Il metodo di analisi consiste in una opportuna modifica ed adattamento di quanto riportato nella parte suoli.

### **Risultati**

Le misure sono attualmente ancora in corso.

## **Considerazioni e Conclusioni**

La campagna analitica condotta ha riguardato il prelievo, il trattamento e l'analisi di 125 campioni di *top-soil*, e 7 campioni di acque provenienti dalle aree interne ed esterne del Poligono Interforze Sperimentale del Salto di Quirra - PISQ. In aggiunta, la campagna analitica è stata condotta anche su carote di terreno ottenute attraverso 6 sondaggi ambientali a profondità variabile da 3 a 6 metri in un'area con suolo fortemente rimaneggiato nella zona Torri-Fornelli-Brillamenti (una zona ristretta dell'area ad intensa attività militare P5-C del Poligono a terra di Perdasdefogu). Questi sondaggi, a seguito dell'analisi stratigrafica condotta da Geologi esperti in materia, hanno prodotto ulteriori 29 campioni di suolo (prelevati nelle zone di carota individuati dai Geologi dell'Università di Milano) per l'analisi elementare/isotopica ICP-MS e dei residui di esplosivo (perclorati e organici).

Al contrario, le matrici biologiche indicate dal quesito non sono state prelevate. Tale fatto trova giustificazione nei seguenti punti: i) le divergenti opinioni, inizialmente espresse da alcuni Periti e alcune Parti nella riunione del 19 giugno a Milano, basate sulle analisi della precedente indagine di SGS che ponevano molti dubbi sulla effettiva utilità di queste matrici nella comprensione della situazione dei luoghi; ii) la mancanza di disponibilità di capi ovini di provenienza certa (evidenza constatata più volte presso i Medici Veterinari dei Macelli Pubblici dei comuni limitrofi al PISQ durante la fase di campionamento in luglio); iii) il successivo fallimento del tentativo di approvvigionamento di campioni di organi ovini in settembre-ottobre a seguito di una vasta epidemia di "lingua blu" nell'area.

L'attività analitica su suoli e acque, oltre all'analisi di molti elementi inorganici compresi uranio e torio, ha riguardato anche la ricerca e la determinazione quantitativa di residui di esplosivo quali i perclorati, il TNT (trinitrotoluene-tritolo) ed altri derivati organici di esplosivo.

A differenza degli elementi inorganici, che sono stati determinati in ICP-MS su tutti i campioni di suolo, carote e acqua, l'analisi dei perclorati e dei residui organici di esplosivo è stata condotta su

tutti i campioni di acqua e su ciascun campione di suolo prelevato nelle zone esterne ai poligoni a terra e a mare. Al contrario, sia per i suoli interni ai Poligoni che per quelli individuati e prelevati nelle carote, le determinazioni sono state condotte su campioni di suolo misto preparati in laboratorio e ottenuti con miscela equi-ponderale dei campioni disponibili in una data area (es. P3 Mix è un campione ottenuto mescolando quantità in peso identiche dei 16 campioni di *top-soil* interni al poligono P3; FP3 Mix è un campione ottenuto mescolando quantità in peso identiche dei 2 campioni FP3-01 e FP3-02 di *top-soil* presente in aree esterne a P3 - Fuori dal **P3** -; S sopra Mix è un campione mediato – Mix - tra i Sondaggi – S - ad una quota iniziale – sopra - di profondità che precede il primo strato argilloso impermeabile trovato). Si veda in proposito la cartella *Dati Cartografici e Campionamenti* ed il file *Elenco 37 Campioni scelti*. Questa scelta si giustifica nel criterio duplice di economicità e razionalità della perizia adducendo le seguenti motivazioni. La eventuale presenza di residui di esplosivo in aree interne al Poligono è attesa e giustificata; è quindi sufficiente conoscere anche il solo valor medio per valutare il contenuto di questa tipologia di analita all'interno di una data area nel Poligono. Al contrario la eventuale presenza di residui di esplosivo fuori dal Poligono, essendo compatibile con la possibile migrazione di tali residui trasportati insieme alle polveri prodotte nelle esplosioni, deve poter essere verificata in ciascuno dei punti di campionamento scelti nelle aree esterne al PISQ, al fine di poter valutare la effettiva entità di diffusione verso l'esterno di queste polveri. La presenza di perclorati è stata riscontrata solo in P5 e in due campioni esterni mentre i residui organici di esplosivo sono stati trovati solo in P5 nei Sondaggi. Al contrario le analisi SGS avevano riscontrato alcune presenze di residui organici di esplosivo in pochi (meno di una decina) campioni esterni.

In aggiunta, il CTU ha deciso di non procedere ad effettuare le analisi di fluorescenza X (XRF) sui campioni di suolo che erano già stati analizzati con la tecnica ICP-MS. La richiesta del CTP Prof. Marini e dei suoi Assistiti (DSA-Siena) di effettuare analisi XRF su ciascun campione era legittimata dal fatto che l'analisi ICP-MS sui suoli avrebbe comportato una consistente sottostima del contenuto (si precisa: geochimico) in uranio e soprattutto in torio nel suolo stesso. Questo fatto

trova evidenza sperimentale ed è dimostrato anche nel corso di questa Perizia (cfr. cartella *Risultati Analitici*, file *Resa Recupero e CV%*). Tuttavia la presente Perizia si propone di dimostrare la rilevanza o la non rilevanza di un rischio radiologico dovuto alla presenza di uranio e torio (si precisa: antropici) nel Poligono e nelle aree circostanti. Quindi, l'interesse del CTU non riguarda l'uranio ed il torio di origine geologica (che sono contenuti in minerali molto difficili da solubilizzare con i metodi tipici utili alla tecnica ICP-MS e che, in quanto minerali, costituiscono il fondo di radioattività naturale legittimata e presente nel sito), ma uranio e torio di origine antropica che, se presenti in quantità significativa, sarebbero stati ampiamente rivelati dalla misura ICP-MS in quanto più facilmente solubili. Siccome le valutazioni di tipo radio-protezionistico effettuate in anticipo dal CTU davano per l'uranio e per il torio risultati ampiamente confortanti in merito alla loro radiotossicità, il CTU ha ritenuto di non procedere a verifiche analitiche doppie sugli stessi suoli con l'impiego aggiuntivo della tecnica XRF. Le valutazioni in materia di radioprotezione qui accennate vengono compiutamente esposte e trattate in un'altra parte specificamente dedicata all'argomento e riportate nel seguito di questa Relazione Peritale.

Anche la proposta avanzata dai CTP di SGS al fine di effettuare un confronto inter-laboratorio tra alcuni laboratori volontari, così da poter valutare la variabilità del dato analitico risultante dalla stessa analisi condotta sullo stesso campione di suolo, non è stata attuata dal CTU. Fin da subito il CTU ha espresso nella Riunione Periti e Parti molti dubbi e perplessità sulla opportunità di attivare questa procedura. Per questo, e anche per non causare ulteriori ritardi nelle attività analitiche, si è preferito effettuare un controllo nella modalità intra-laboratorio, impiegando 3 suoli di contenuto certificato o accertato per un totale di 13 misure di intra-confronto ripetute e distribuite nel corso delle analisi. Ciò ha potuto garantire sia la verifica del buon andamento delle analisi e delle metodiche impiegate, che di ottenere indicazione sulla variabilità "intrinseca" che è sempre presente in un dato analitico ottenuto sperimentalmente attraverso un'analisi complessa svolta in più fasi (si veda ancora una volta la cartella *Risultati Analitici*, file *Resa Recupero e CV%*).

Tutti i risultati ottenuti (performance strumentali, LOD e LOQ, analisi ICP-MS, errori relativi percentuali, resa recupero e CV%, Perclorati, Residui Esplosivi, etc) sono tutti riportati nella cartella *Risultati Analitici*.

Una prima considerazione sui dati mostrati nelle tabelle relative al contenuto dei vari elementi nei diversi campioni di suoli e di acqua analizzati mette in risalto un (molto probabile) errore di tipo sistematico per il berillio (Be), valutato con una sovrastima di c.a il +120% sul dato (cfr. cartella *Risultati Analitici*, file *Resa Recupero e CV%*). Questo può essere facilmente spiegato dal fatto che il valore ottenuto dallo strumento per l'isotopo del Be che ha massa 9 è fortemente compromesso dalla enorme presenza nella soluzione dell'isotopo di boro-10 (B-10), che differisce di poco nella massa e tale differenza prossima ad 1 unità di massa atomica (1 amu) è al limite della risoluzione strumentale. La presenza di molto boro nei campioni analizzati è dovuta allo spegnimento con acido borico in % elevata per favorire l'eliminazione dell'acido fluoridrico (HF) aggiunto secondo quanto prevede il metodo EPA 3052. Pertanto la presenza di eventuali valori elevati (anche vicini ai valori di CSC - Concentrazione Soglia di Contaminazione - del D.Lgs 152/06) per il Be trovano questa giustificazione. Inoltre, il berillio non costituisce un contaminante antropico significativo e giustificabile nel contesto militare. A tal proposito è opportuno precisare che molti degli elementi analizzati e determinati sia da SGS che nel corso di questa Perizia, non sono comunemente valutati dalle ARPA in Italia nel corso delle loro valutazioni di routine in ambito di contaminazione ambientale-industriale. Di solito sono investigati prevalentemente i seguenti analiti: Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Hg e Pb. Altri come Be, Zr e W non vengono valutati, mentre Tl, Sb e V sono valutati in relazione a specifiche attività antropiche note e di interesse per il luogo di indagine. In aggiunta è noto che dal punto di vista analitico le incertezze (i Coefficienti di Variabilità %) nella determinazione di elementi quali mercurio (Hg), tallio (Tl), selenio (Se) e antimonio (Sb) sono molto elevate; un po' meno quelle del cadmio (Cd). Si confronti in proposito come queste incertezze di misura, note nell'ambito della chimica analitica ambientale, siano anche confermate dai risultati ottenuti nei test di controllo interno, effettuati nel corso delle analisi ICP-MS e riportati

insieme ai CV% valutati da Unichim (cfr. cartella *Risultati Analitici*, file *Resa Recupero e CV%*). E' opportuno comunque ricordare che i valori di Resa di Recupero Media % riportati nella tabella sono strettamente efficaci e validi all'interno del confronto effettuato con i tre suoli certificati impiegati. È opportuno ricordare che lo stesso risultato (resa di recupero media % di un dato elemento) non è di immediata applicabilità su altri suoli che di fatto possono avere caratteristiche completamente diverse dai suoli certificati esaminati. I risultati ottenuti mostrano comunque il buon andamento delle fasi analitiche ed evidenziano che i risultati analitici sono in ottimo accordo con quello che si riscontra generalmente nella routine di una buona analisi ICP-MS condotta su questa tipologia di matrice, dando di fatto conto della buona affidabilità della campagna analitica.

Nei fogli .xls con i contenuti dei diversi elementi chimici nei 125 + 29 campioni di suolo sono riportati, per ciascun elemento analizzato, i valori di CSC della colonna A (suoli residenziali) e della colonna B (suoli industriali) indicati dal D.Lgs 152/06. In particolare, i valori degli elementi che superano le CSC della colonna A sono evidenziati in giallo, mentre quelli che superano le CSC della colonna B sono in rosso. Si precisa che i valori limiti di soglia sono da considerarsi puramente indicativi in quanto il CTU, come detto nella parte finale di questa Relazione Peritale, non è certo che le CSC riportate nella 152/2006 siano direttamente applicabili ai suoli che si trovano all'interno dell'area demaniale destinata a Poligono Militare. Diversa è la situazione per le aree esterne al PISQ anche se, per quanto noto al CTU, per il confronto del valore della concentrazione di un contaminante con quello della CSC riportata nella 152/06 per lo stesso contaminante non si considera il dato analitico ricavato sul top-soil ma, ai fini di una valutazione del rischio o di una bonifica, quello mediato su una carota di suolo della profondità di 1 metro.

Comunque, considerando i risultati analitici riportati, espressi in mg/kg e riferiti ad 1 kg di suolo comprendente lo scheletro e quindi tutta la frazione setacciata sotto i 2 cm di maglia, si nota che la maggior parte dei dati rientrano al di sotto delle CSC per suoli destinati a verde pubblico e pochissimi valori, soprattutto trovati nella zona P5/C-zona Torri/Brillamenti/Fornelli, superano il

valore di CSC della colonna B (suoli per destinazione commerciale-industriale), fermo restando quanto detto sopra in termini di applicabilità dei limiti alle infrastrutture militari. Una situazione ancora più confortante si riscontra per i campioni di suolo prelevati nelle aree esterne al PISQ ad eccezione dell'arsenico.

Volendo entrare nel dettaglio dei valori riscontrati, occorre fare qualche considerazione. I valori che generalmente superano per lo stagno (Sn) i limiti di CSC sono da considerarsi poco significativi. E' noto infatti, a chi si occupa di valutazioni ambientali, che lo Sn è presente oltre il limite fissato ( e pertanto da molti ritenuto per questo motivo un limite inapplicabile) praticamente su tutto il territorio nazionale. Analogamente, i valori relativi all'arsenico potrebbero essere con molta probabilità dovuti al fondo naturale o ad una causa antropica diversa da quella militare, dato che si ritrova frequentemente allo stesso modo sia dentro che fuori dal PISQ. Tuttavia, 110 campioni di suolo dentro il Poligono e 19 nelle aree esterne non consentono di verificare con certezza questa affermazione (si veda comunque in proposito la parte di Relazione peritale che si riferisce ai dati prodotti da SGS e rielaborati da ARPAS).

Considerazioni analoghe in merito alla mancanza di evidente contaminazione possono essere tratte sia dai risultati delle analisi sui Perclorati che da quelli relativi ai Residui Organici di Esplosivo che, pur non essendo contemplati come contaminanti dalla 152/06 comunque costituiscono un "marker" importante delle attività antropiche svolte nel PISQ e di interesse per le aree interne e per quelle esterne al Poligono. A tal proposito i risultati mostrano la presenza di questi residui solo nell'area P5 e, esternamente, per i soli Perclorati nella zona di Escalaplano e Perdasdefogu. I valori trovati al di fuori, tuttavia, appaiono un po' troppo elevati se confrontati con i valori in P5. Anche le analisi di SGS, riferite ad un numero di campioni esterni molto più numeroso e rappresentativo, evidenziavano la presenza di residui organici in minima quantità e in solo pochi campioni di suolo.

Per quanto concerne i campioni di acque, questi non hanno mostrato presenza di perclorati al di sopra del limite di rivelazione. Le analisi dei Residui Organici sono ancora in corso.

Volendo concludere è possibile affermare che, sulla base dei campioni di suolo ed acque prelevati, non siamo in presenza di un disastro ambientale. È possibile notare che i valori dei diversi parametri ottenuti nel corso di questa campagna analitica non sembrano discostarsi molto dai valori riscontrati durante le precedenti indagini analitiche. Nelle zone interne al Poligono è possibile che fenomeni di dispersione di polveri fini abbiano contribuito a variare il contenuto elementare di suoli caratterizzati in origine da geo-litologie con diversa composizione chimica.

Per quanto riguarda le valutazioni di disastro o di rischio concernenti gli elementi radioattivi uranio e torio si veda la parte specificamente ad essi dedicata in questa Relazione Peritale. Anche per quanto riguarda la determinazione dei rapporti isotopici U235/U238 e la conseguente valutazione dell'eventuale contaminazione dei luoghi da Uranio Depleto (DU) si veda la specifica trattazione nel seguito di questa Relazione.

#### **VALUTAZIONE DEL RAPPORTO ISOTOPICO U-235/U-238 AL FINE DI VERIFICARE**

##### **LA POSSIBILE PRESENZA DI CONTAMINAZIONE DA URANIO DEPLETO (DU)**

La valutazione del rapporto isotopico (RI) U235/U238 tramite ICP-MS-Q può essere soggetta a rilevanti errori in particolar modo quando il contenuto di uranio-238 nel campione risulta particolarmente basso, anche se di molto superiore alla sensibilità con cui la metodica riuscirebbe a quantificarlo (LOQ- Limit of Quantification) in quel dato campione.

La causa principale della difficoltà di giungere ad una corretta stima del rapporto isotopico U235/U238 è la quantità molto ridotta di U235 presente in natura (poco più del 7 per mille) e quindi da determinare nei campioni più poveri di uranio. Tale ridotta quantità, essendo più di 2 ordini di grandezza inferiore a quello dell' U-238 (che, come detto, si misurerebbe ancora molto bene in quel campione) induce fluttuazioni statistiche così importanti nel conteggio dell'U-235 da impedire la valutazione di questo isotopo e, conseguentemente, di pervenire ad una stima corretta del valore del

rapporto isotopico  $U^{235}/U^{238}$ , valore molto importante per investigare contaminazioni da uranio depleto (DU) in una data matrice.

La procedura che si impiega nelle misure ICP-MS, così come in molte altre tecniche analitiche, per valutare un dato “analita” in una soluzione acquosa (es. un metallo), è quella standard che prevede, una volta calibrato opportunamente lo strumento, di sottrarre alla lettura dei valori di conteggio misurati per quel metallo nel campione in esame, la lettura dei valori di conteggio misurati per quello stesso metallo nel solvente (in genere acqua + mix di acidi usati per la stabilizzazione o la mineralizzazione del campione) impiegato per il trattamento o la diluizione (il cosiddetto “bianco” o “bianco-acidi”). Nella buona pratica di laboratorio il “bianco” a cui ci si riferisce è un “campione bianco” che, oltre a contenere esattamente nelle stesse quantità tutti quei componenti che hanno favorito e permesso la preparazione della soluzione del campione oggetto dell’analisi (acqua ultrapura e mix di acidi ultrapuri), ha anche subito lo stesso procedimento del campione cioè la stessa storia analitica. Analogamente, la stessa procedura pratica e logica viene impiegata per l’analisi in spettrometria di massa dell’uranio nei suoi due isotopi  $U^{238}$  e  $U^{235}$ , per entrambi i quali deve essere sottratta dalla lettura nel campione la corrispondente lettura nel bianco.

Come è ovvio attendersi, il contenuto di  $U^{235}$  e  $U^{238}$  presente nel “bianco” è estremamente basso e quindi l’associata incertezza statistica può diventare molto rilevante soprattutto per l’ $U^{235}$ . Come esempio pratico delle misure condotte al Politecnico, sono state ottenute incertezze sulla misura dell’ $U^{235}$  contenuto nel “bianco” comprese tra il 50 e il 150% e per l’ $U^{238}$  comprese tra il 15 e il 50%

In particolare è degno di nota che la valutazione del contenuto dell’ $U^{235}$  nel bianco corrisponde ad un numero estremamente ridotto di conteggi (poche unità). In queste condizioni è evidente che il conseguente rapporto isotopico del bianco, cioè il raffronto  $U^{235}/U^{238}$  è del tutto inaffidabile e ciò può pregiudicare completamente il calcolo dei RI in tutti quei campioni in cui, essendo in partenza

il contenuto in uranio nel campione molto basso, la sottrazione di un bianco letto con grave errore statistico può portare a conclusioni completamente falsate.

Riportiamo un esempio. I valori medi dei conteggi misurati per il “bianco” nel caso della serie di misure riguardanti l’area P6 sono 1,417 con errore del 140% per l’U235 e 28,667 con errore del 33% per l’U238. Sono evidenti gli enormi errori, in particolare per quanto riguarda l’U235. In aggiunta, e con particolare attenzione si deve rilevare che, se considerassimo validi questi valori medi il rapporto isotopico U235/238 per questo bianco sarebbe pari al 4,9%. Ciò è assurdo dato che non esiste alcun processo naturale per cui l’uranio possa essere arricchito a valori neanche lontanamente paragonabili a questo. L’arricchimento dell’uranio è un processo che necessita di sofisticati impianti tecnologici attualmente presenti solo in alcuni paesi al mondo e’ pertanto da escludere il significato fisico che deriva da un simile dato analitico.

Per queste ovvie ragioni e al fine di poter correttamente pervenire ad una corretta valutazione dei rapporti isotopici (RI) di U235/U238 anche in quei suoli a basso contenuto di uranio, si è ritenuto necessario, ragionevole ed opportuno effettuare una correzione ai valori misurati per il “bianco” con la seguente procedura: il valore complessivo di conteggi (U235 + U238) è stato mantenuto pari a quello misurato dalla macchina sul “bianco”, mentre i singoli valori dei conteggi di U235 e U238 sono stati ricavati imponendo il vincolo ovvio del rispetto delle relative abbondanze naturali.

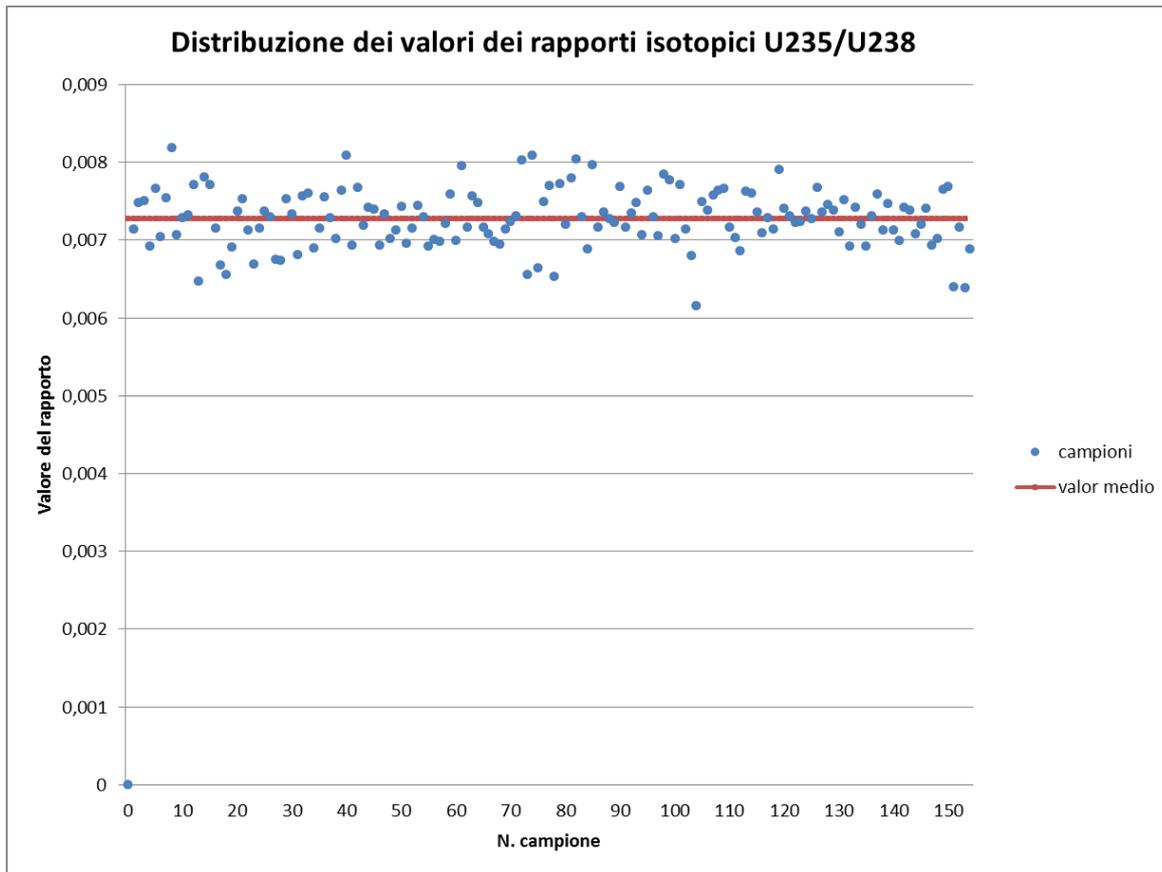
Nell’esempio sopra riportato si è assunto che l’uranio totale presente nel bianco fosse pari alla somma dei conteggi misurati dell’U235 e dell’U238 ossia  $1,417+28,667=30,084$ . Questo valore è stato ripartito in proporzione alle abbondanze naturali dei due isotopi ottenendo una nuova valutazione, corretta dal punto di vista fisico, dei conteggi del “bianco” da assegnare all’U235 e all’U238 rispettivamente pari a 0,217 e 29,867.

In questo modo si è in grado di ottenere una valutazione più corretta del contenuto dell'U235 presente nel "bianco" che lo strumento non ci può fornire, dati i suoi limiti, potendo tener conto di un valore più affidabile (uranio totale) presente nello stesso "bianco".

In conclusione, adottando questa procedura si ritiene di riuscire a contenere l'errore che consegue all'operazione matematica di sottrazione del "bianco" dalla misura dei campioni, e di poter pervenire in tal modo ad una valutazione più corretta dei rapporti isotopici anche nei campioni a basso contenuto di uranio quindi potendo verificare se vi è contaminazione da uranio depleto anche in queste matrici.

La procedura adottata ha permesso di determinare il Rapporto Isotopico in tutti i campioni di suolo e dei sondaggi. Nella Tabella che segue sono riportati i valori medi dei rapporti isotopici ottenuti per le diverse aree investigate. Il grafico che segue mostra tutti i rapporti isotopici ottenuti con la procedura di calcolo applicata a ciascun campione di suolo e la media generale.

| Area o tipologia |  | Media rapporti isotopici U235/U238 |   | Deviazione standard |
|------------------|--|------------------------------------|---|---------------------|
| P3               |  | 0,007377                           | ± | 0,000414            |
| P4               |  | 0,007181                           | ± | 0,000276            |
| P5               |  | 0,007322                           | ± | 0,000389            |
| Sondaggi         |  | 0,007317                           | ± | 0,000242            |
| P6               |  | 0,007221                           | ± | 0,000268            |
| P7               |  | 0,007374                           | ± | 0,000484            |
| Poligono a Mare  |  | 0,007115                           | ± | 0,000382            |
| Area esterna     |  | 0,007329                           | ± | 0,000408            |

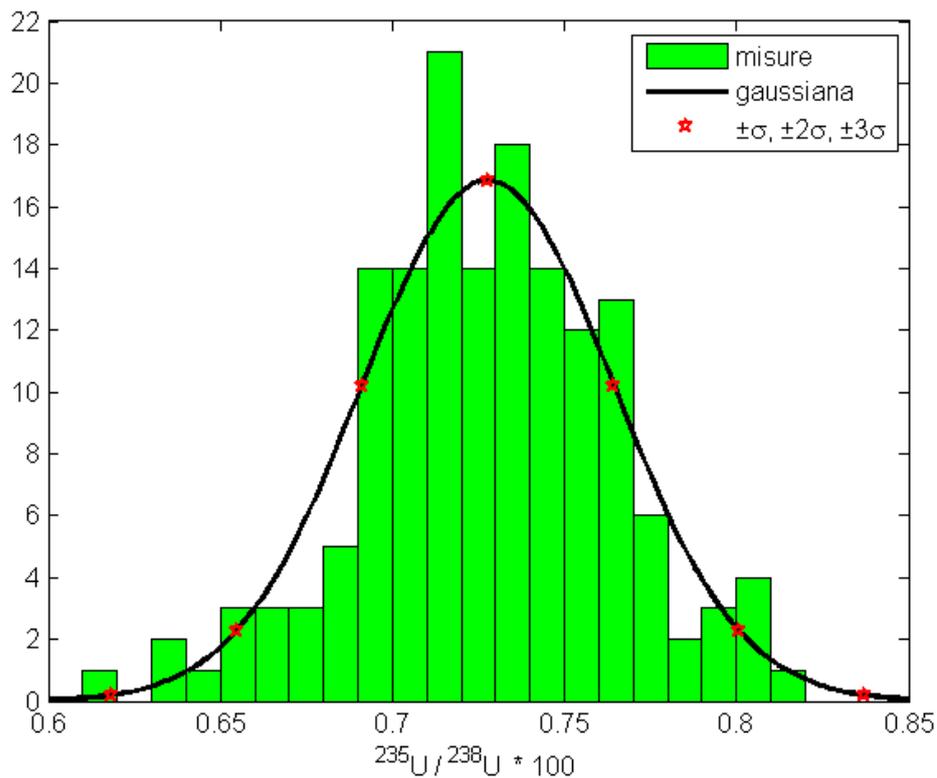


Media generale dei 154 campioni di suolo  $0,007277 \pm 0,000365$  (linea rossa).

Il rapporto isotopico naturale U235/U238 è 0,007253

### Elaborazione dei rapporti isotopici

Dalle misure effettuate presso il Laboratorio di Radiochimica del Politecnico di Milano sono stati ricavati un totale di 154 valori di rapporti isotopici. Nella figura che segue i valori sono presentati in forma di istogramma. Sovrapposto all'istogramma è disegnata la curva gaussiana di pari media e varianza; e su di essa evidenziati i punti a distanza  $0, \pm\sigma, \pm2\sigma, \pm3\sigma$  dal valor medio.



Per verificare che l'andamento della distribuzione trovata è effettivamente assimilabile ad una curva gaussiana, è stato condotto il test del "chi quadro" utilizzando la funzione statistica CHI2GOF (Chi-square goodness-of-fit test) contenuta nel pacchetto software Matlab™. Questa funzione opera automaticamente una serie di operazioni sui dati: individuazione di media e varianza, definizione di una griglia di raccolta dati costituita da 10 intervalli equispaziati tra valore minimo e massimo, unione di intervalli estremi (code) fino a raggiungere un numero di campioni ivi contenuti almeno pari a 5, ed infine effettuazione del test "chi quadro". I risultati sono qui riportati:

```
P =
    0.5629
STATS =
    chi2stat: 2.9697
           df: 4
           edges: [0.6156 0.6766 0.6970 0.7173 0.7376 0.7580 0.7783 0.8190]
           O: [12 16 36 31 27 21 11]
           E: [12.4344 18.3186 28.9520 33.8049 29.1617 18.5848 12.7435]
```

Il parametro più importante è la probabilità P, sempre compresa tra 0 e 1. Un valore troppo basso di questo parametro (es. <0.05) indica una bassa probabilità che i dati siano effettivamente distribuiti secondo una curva gaussiana. D'altro canto un valore molto alto di P genera il sospetto che i dati possano essere stati manipolati, dato che una corrispondenza eccezionalmente buona con una curva gaussiana è assai improbabile (potremmo dire: 'troppo bello per essere vero'). Il valore di P ottenuto indica che è lecito interpretare i dati come distribuiti secondo una curva gaussiana, dato che non sono né troppo discosti, né troppo simili a tale curva.

Concentriamoci ora sulla valutazione del valor medio del Rapporto Isotopico. Si può considerare di avere a disposizione 154 valori tutti estratti dalla stessa distribuzione gaussiana, per i quali viene calcolata la media. Ne segue che l'errore (= deviazione standard =  $\sigma$ ) associato al valor medio è legato all'errore della distribuzione stessa:

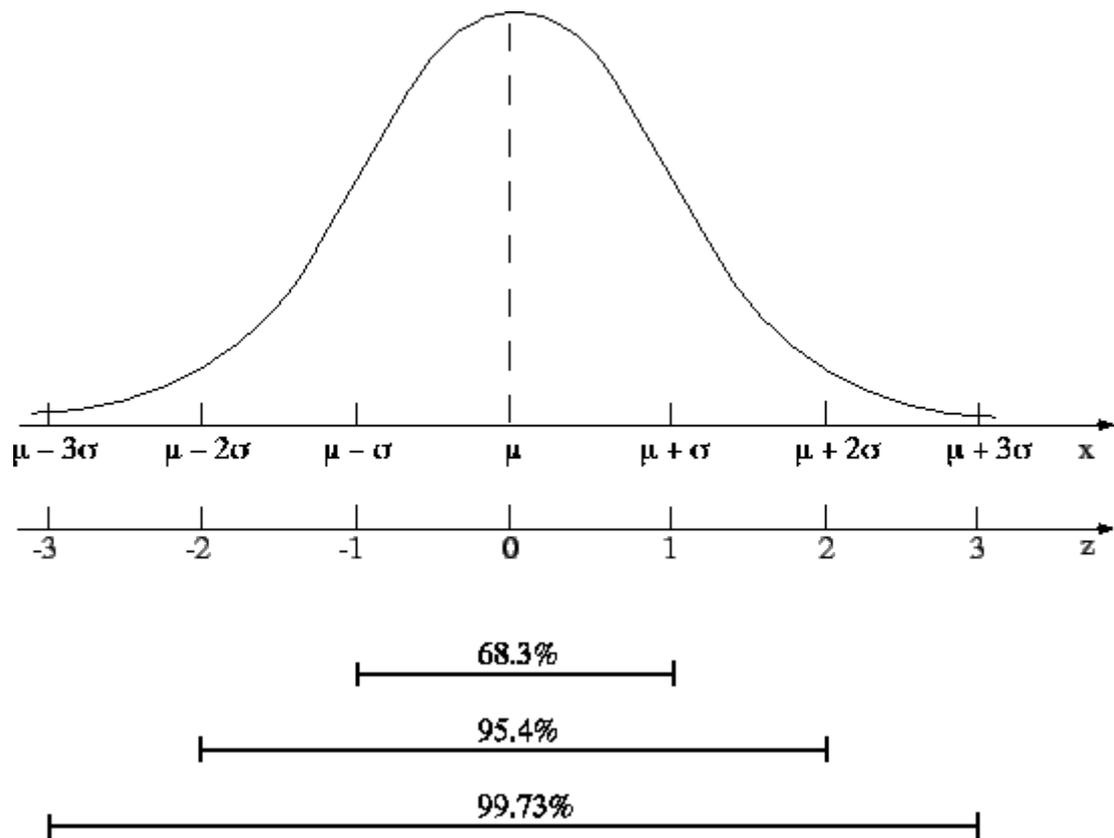
$$\text{deviazione standard del valor medio} = \frac{\text{deviazione standard della distribuzione}}{\sqrt{\text{numero dei campioni}}}$$

Quindi l'errore associato al valor medio è più piccolo dell'errore associato al singolo campione. Intuitivamente possiamo affermare che l'operazione di media su campioni indipendenti fa sì che gli errori associati, essendo casuali, tenderanno in parte a compensarsi l'un l'altro.

Nel nostro caso abbiamo che la distribuzione dei valori del Rapporto Isotopico espresso in % ha valor medio 0.7277 e deviazione standard 0.0365. La deviazione standard del valore medio è 0.0029. Ne segue che nell'intervallo  $0.7277 \pm 0.0029$  è compreso il valore medio *vero* con probabilità circa 68%. Il Rapporto Isotopico naturale, pari a 0.7253% cade in questo intervallo.

Ne segue che non c'è evidenza che l'uranio dei campioni sia diverso dall'uranio naturale.

Gaussiana: aree sottese



## QUESITO

- I -

Dica il perito se per effetto delle attività militari svolte attualmente o in passato all'interno del poligono si sia determinato un danno all'ambiente avente potenza espansiva e attitudine ad esporre a pericolo collettivamente un numero indeterminato di persone anche all'esterno del poligono medesimo.

Proceda, in particolare, ad analizzare gli elementi chimici in matrici ambientali e biologiche allo scopo di verificare se nell'area del poligono, con particolare riguardo alle aree ad alta intensità militare p2, p3, p4, p5, p6, p7, siano presenti

*Omissis*

... le sostanze radioattive di cui al capo d'imputazione e se eventuali valori superiori alla norma siano conseguenza dello svolgimento delle attività militari, così come risultano descritte negli atti del procedimento, o di altra attività antropica.

Dica se il livello di contaminazione eventualmente rilevato sia stato pericoloso dal 2002 al 2011 (fino al sequestro dell'area del PISQ) per la salute, rispettivamente,

- di coloro che lavorano abitualmente all'interno del poligono
- di coloro che accedono all'area con cadenza periodica non in coincidenza con le attività militari
- di coloro che abitano nei comuni limitrofi (in particolare, Escalaplano e Quirra frazione di Villaputzu), tenendo altresì in considerazione le peculiarità orografiche e il contributo causale eventualmente riconoscibile a direzione ed intensità del vento, con particolare riferimento ai brillamenti avvenuti dal 1984 al 2008 in zona torri ed alle sorgenti degli acquedotti di detti centri abitati

Dica se l'eventuale contaminazione rilevata presentasse caratteristiche che la rendessero riconoscibile dal gennaio 2002 al 2011 e, in caso affermativo, indichi a quale livello di conoscenza..

Indichi, inoltre, quali accorgimenti avrebbero evitato la causazione dei danni all'ambiente e il pericolo per la salute delle categorie di persone sopra elencate.

- II -

*Omissis*

... Dica, in particolare, se erano rilevabili anomale quantità di torio nel terreno dagli esiti delle analisi dell'Università di Siena ed anomale quantità di torio ed uranio dagli esiti delle analisi delle matrici animali fatte da SGS.

## **Premessa**

In questa parte di Relazione Peritale si intende rispondere a tutte le richieste del quesito (sopra riportato per maggiore comodità) che, direttamente o indirettamente riguardano la possibile esposizione al rischio radiologico derivante dagli isotopi naturali di uranio-238 e torio-242 (e loro progenie) presenti nelle aree interne ed esterne al PISQ.

Uranio-238 e Torio-232 (U-238 e Th-232) sono radionuclidi naturali primordiali (detti anche radio-elementi), con tempi di dimezzamento molto lunghi (comparabili con l'età della Terra) e presentano

una distribuzione praticamente ubiquitaria nella crosta terrestre con valori di concentrazione di attività (normalmente indicati in Bq/g o kBq/kg - Becquerel/grammo o multipli) variabili a seconda del tipo e delle quantità di minerale presente e, soprattutto, con notevoli variazioni di tali valori in funzione del luogo. I decadimenti radioattivi di U-238 e Th-232 (capostipiti) producono una serie di radionuclidi figli (progenie) costituiti da isotopi dello stesso elemento e/o da elementi di tipo diverso dal capostipite, con caratteristiche fisiche molto variabili in termini di tempo di dimezzamento, tipo di decadimento radioattivo, energia e tipo di radiazione emessa e, nel caso di elementi diversi dal capostipite, anche di comportamento chimico (Figure 1 e 2; Tabelle 1 e 2 in fondo a questa parte). La radioattività, o più semplicemente attività, di una sorgente radioattiva si misura in Becquerel (Bq), dove 1Bq è pari e corrisponde ad a 1 decadimento radioattivo in 1 secondo.

L'U-238 e il Th-232, pur essendo metalli (appartenenti alla serie degli Attinidi nella Tavola Periodica degli Elementi) non sono contemplati nel D.Lgs. 152/2006 che stabilisce le CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) per diverse specie nei suoli con diversa destinazione (residenziale/verde pubblico - Tabella A, commerciale/industriale - Tabella B). Diversamente, per la loro natura radioattiva, le limitazioni per uranio e torio naturali sono oggetto specifico di Leggi nazionali e/o Direttive e Linee Guida sovra-nazionali. Tra queste ricordiamo il DLgs. 230/1995, il DLgs 241/2000 e loro modificazioni e integrazioni, le Direttive EURATOM (Commissione Europea) in materia radio-protezionistica, in particolare la Linea Guida RP 122 (Radiation Protection 122, Part I and Part II), le Linee Guida della International Atomic Energy Agency (IAEA-ONU), etc. Tutte queste normative sono specificamente attinenti la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione del pubblico contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Come vedremo più avanti, la normativa in materia di radioprotezione avente come oggetto i radionuclidi naturali (come uranio-238 e torio-232, ad esempio) fa riferimento a valori di dose ai lavoratori e ai membri del pubblico e non già a specifici valori di concentrazione massica (mg/kg), così come direttamente determinati nelle matrici ambientali, vegetali ed animali per mezzo delle

indagini analitiche svolte. Pertanto, le risposte alle domande poste nel quesito, per quanto riferito ad uranio e torio, devono necessariamente avvalersi dei criteri riportati nelle normative citate.

### **Valutazioni in materia di Radioprotezione concernenti U-238 e Th-232**

Le modalità di calcolo specifiche contenute nella normativa nazionale citata rientrano nella competenza di uno specifico Albo Professionale, quello degli Esperti Qualificati (EQ di I, II e III grado). La normativa trae la sua *ratio* da un diverso approccio necessario per valutare limiti di contaminazione da radionuclidi in termini di valore di concentrazione di attività (una sorta di analogo dei CSC del D.Lgs 152). Tale *ratio* origina dal fatto di dover procedere con modalità di calcolo e valori limite diversi a seconda che i radionuclidi siano di origine artificiale o naturale. Per i radionuclidi artificiali, che non sono presenti in natura, essendo teoricamente nullo il loro valore di “fondo naturale”, risulta molto più semplice procedere ad una loro quantificazione assoluta, data la loro origine esclusivamente antropica. Il potersi quindi riferire a valori limite di contaminazione direttamente espressi in Becquerel/grammo (Bq/g) per stabilire la eventuale non rilevanza radiologica o situazioni di Exemption (Esenzione = non sono necessari controlli sul materiale/sito) o di Clearance (Rilascio = non è più necessario continuare a effettuare i controlli sul materiale/sito) rende la procedura più immediata: (i) si fa la misura radiometrica; ii) si stabilisce la attività del radionuclide presente; iii) lo si confronta con le tabelle e si conclude se il valore di concentrazione di attività (Bq/g) risulta anomalo e di quanto.

Diversamente, per i radionuclidi naturali, quali ad esempio U-238 e Th-232, data la loro enorme variabilità da luogo a luogo nella crosta terrestre, non è possibile giungere a stabilire un analogo limite di concentrazione di attività in Bq/g, come invece si può fare nel caso dei radionuclidi artificiali. La normativa prevede quindi una elaborazione più complessa con un procedimento che richiede il calcolo della dose (espressa in micro- o milli-Sievert/anno) sia per i lavoratori (che se classificati non esposti a rischio da radiazioni ionizzanti hanno un limite pari a 1 mSv/anno) che per le persone del pubblico/popolazione (limite di 0.3 mSv/anno = 300 µSv/anno). La norma impone

che si debba procedere applicando tale elaborato e complesso calcolo ai radionuclidi naturali che in una data matrice o in un dato sito siano presenti in concentrazione più elevata rispetto ai valori normalmente presenti in quel luogo o in quel materiale. Una maggior quantità di radionuclidi rispetto al fondo naturale (fondo che, a differenza dei radionuclidi artificiali, è diverso da zero e può variare moltissimo da luogo a luogo) si può trovare a causa di una attività antropica che concentra i radionuclidi naturali in una data matrice aumentandone la loro quantità. Si parla in tal caso di problematica concernente la contaminazione da TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials) cioè a dire materiali radioattivi che sono naturalmente presenti in natura, ma la cui radioattività risulta accresciuta da una attività di tipo “tecnologico”, e quindi antropica. Pertanto, in caso di presunta contaminazione di una matrice ambientale dovuta ad un eccesso di radionuclidi naturali rispetto ad un valore di fondo accertato, l’EQ deve procedere ad effettuare uno Studio Radioprotezionistico che pervenga ad una valutazione di dose ai lavoratori e alla popolazione. L’intento è quello di dimostrare, considerando tutte le possibili vie di contaminazione (irraggiamento esterno dovuto all’esposizione diretta alla sorgente radioattiva, irraggiamento interno dovuto ad ingestione ed inalazione), che la dose complessiva (per le condizioni di esenzione e di rilascio incondizionato) sia inferiore a 300  $\mu\text{Sv}/\text{anno}$  o 1000  $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ , rispettivamente per la popolazione del pubblico o per i lavoratori che per diverso motivo sono soggetti all’esposizione a TENORM. Il personale militare probabilmente può essere esposto a valori di dose più elevati di quanto previsto da questa normativa, dato il possibile coinvolgimento in attività operative particolarmente rischiose (es. NBC = Nucleari Batteriologiche Chimiche).

Si può pertanto affermare che, a rigore, non è sufficiente, né corretto, né possibile valutare semplicemente e direttamente come “anomala”, nel senso pericoloso del termine, la concentrazione espressa in mg/kg di U-238 o di Th-232 in una matrice, ancorché questa risulti superiore — e anche di molto — ad un presunto valore di fondo naturale di riferimento. E’ infatti necessario, al fine di poter esprimere un parere sulla pericolosità dovuta al rischio radiologico originato da questi radionuclidi naturali, procedere ad una valutazione di dose da parte di un Esperto Qualificato. Detta

valutazione sarà diversa da caso a caso, poiché deve considerare ed analizzare nel dettaglio tutti i possibili scenari di esposizione delle persone alle radiazioni dovute ai radionuclidi emettitori (alfa, beta, gamma, neutroni) contenuti nelle diverse matrici.

E' evidente che una valutazione tanto puntuale ed esaustiva non poteva essere portata a termine senza il contributo di uno o più EQ ed in un tempo ragionevole. In aggiunta, una valutazione effettuata secondo le prescrizioni della normativa nazionale vigente avrebbe comportato uno spreco di risorse non commisurato all'obiettivo che di fatto si intende perseguire in questa relazione peritale.

Si è ritenuto quindi ragionevole ed opportuno procedere nel modo seguente che, con buona approssimazione, permette di fornire una risposta corretta e ben circostanziata alle domande sul pericolo e sull'eventuale danno di natura radiologica.

La Radiation Protection 122 (RP 122 – Part II, Linea Guida EURATOM di grande autorevolezza ed efficacia in materia di radioprotezione) riporta valutazioni in materia di radioprotezione imponendo un valore limite (300  $\mu$ Sv/anno) di dose ai lavoratori e alle persone del pubblico che per una qualche ragione (scenario) si vengono a trovare esposte a radiazioni ionizzanti dovute ai radionuclidi naturali contenuti in una data matrice. La RP 122 - Part II calcola i valori limite di concentrazione di attività (in kBq/kg, non in mg/kg) che soddisfano le condizioni di Esenzione/Rilascio considerando:

- i) i diversi tipi di matrice contaminate da NORM (rifiuti rocciosi, ceneri, sabbie, scorie e fanghi);
- ii) i diversi radionuclidi naturali presenti (U-238, Th-232, Ra-226, K-40, etc.) sia come singolo isotopo, che in miscela isotopica naturale ed anche nel caso del completo equilibrio secolare con la progenie;
- iii) le possibili vie di esposizione/contaminazione (esposizione diretta dall'esterno, contaminazione interna per inalazione e/o ingestione) considerando i diversi parametri di riferimento coinvolti;

- iv) tutti i possibili scenari per i lavoratori (ad es. trasporto, stoccaggio, deposito, costruzione di strade, costruzione di manufatti e/o edifici riferiti a materiali contaminati da NORM- Naturally Occurring Radioactive Materials), cfr. tab. 26 e seguenti, punto 6.1 della RP 122;
- v) tutti i possibili scenari per le persone della popolazione (che ad esempio risiedono in prossimità di cumuli/mucchi/heap di matrice contaminata da NORM, oppure vivono in edifici costruiti con materiali contenenti NORM, etc.), cfr. Tabelle 26 e seguenti, punto 6.1 della RP 122.

Dalle Tabelle (*cfr. Tabelle riportate in calce alla presente parte di Relazione*) è possibile concludere che in genere il Th-232 in equilibrio secolare presenta una radiotossicità (in kBq/kg) più elevata dell'U-238 in equilibrio secolare nelle diverse condizioni esaminate per l'Esenzione e il Rilascio.

In tal modo è più agevole riuscire a rispondere a gran parte dei quesiti attinenti il rischio radiologico attraverso l'impiego delle Tabelle citate disponibili nella RP 122-Part II, unitamente a qualche semplice calcolo.

A tal fine consideriamo quindi le seguenti ipotesi di lavoro nell'utilizzare la RP 122:

- che il suolo all'interno ed all'esterno del PISQ (Poligono Interforze Salto di Quirra, comprendente il poligono a terra e quello a mare di Capo San Lorenzo) sia assimilabile a dei mucchi di matrici contaminate da NORM (sand, waste rock, edifici contenenti NORM, ecc. tabella 27 e segg.)
- che la persona del pubblico viva in prossimità di mucchi di matrici contaminate da NORM (es. residence near a heap, scenario 4.3.2), scenario più cautelativo per il fatto che la popolazione ha limiti di dose inferiori al lavoratore e per il fatto che, per i diversi aspetti di vita quotidiana, è esposta per un maggior numero di ore e a diverse forme di vie di contaminazione), o comunque che il pubblico sia esposto considerando sempre lo scenario peggiore dal punto di vista radiologico (es. ultima colonna **Min. All** con valori in grassetto delle Tabelle 27, 29 e 30 riferite a

residui di roccia, sabbie o scorie contaminate che possono anche costituire materiale da costruzione);

- che tutto il contenuto di U-238 e Th-232 nel PISQ e fuori non sia dovuto al fondo naturale (che c'è ed è stimabile anche per mezzo delle carte geologiche) ma risulti unicamente dal contributo di proiettili o armamenti che rilascino all'ambiente questi due radionuclidi e che entrambi siano presenti nella matrice considerata all'equilibrio secolare (righe corrispondenti a U-238<sub>sec</sub> e Th-232<sub>sec</sub> nelle Tabelle citate sopra). Queste due righe incrociano, in corrispondenza con la colonna **Min. All**, rispettivamente, i corrispondenti livelli di 0,43 kBq/kg per l'uranio, e 0,30 kBq/kg per il torio, livelli che soddisfano le condizioni di esenzione e rilascio nel peggior caso possibile che si possa considerare per i TENORM (**Min. All** = minimo fra tutti).

Passando dai valori limite di concentrazione di attività trovati in kBq/kg con la RP 122 ai valori di concentrazione nella matrice contaminata, si possono ottenere i corrispondenti valori per l'U-238 e per il Th-232 espressi in mg/kg e pertanto direttamente confrontabili con i dati analitici forniti dalle misure ICP-MS.

Stima del livello di Esenzione/Rilascio per il Th-232<sub>sec</sub> in mg/kg relativo agli scenari sopra considerati per il PISQ (interno ed esterno) e riferibili ad un membro del pubblico ivi residente

Per una popolazione del pubblico, nel caso degli scenari peggiori considerati per il calcolo dei livelli di esenzione/rilascio relativamente a diversi materiali contaminati da NORM, la RP 122 riporta come valore minimo per il Th-232 in equilibrio secolare 0,3 kBq/kg (nei casi di rifiuto roccioso, sabbioso o scorie).

Questo valore, espresso come concentrazione di attività (cioè in kilo Becquerel riferiti all'unità di massa di un kg di rifiuto) comporta un contenuto in Th-232 che può essere calcolato per mezzo della seguente relazione, che correla l'attività al numero di nuclei di torio-232 presenti attraverso la costante di decadimento  $\lambda$  di quel radionuclide:

$$A = \lambda \times N \quad \text{dove} \quad \lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad \text{e}$$

$$t_{1/2} = 1.405 \cdot 10^{10} \text{ anni} = 1.405 \cdot 10^{10} \times 365.25 \times 24 \times 3600 = 4.434 \cdot 10^{17} \text{ secondi}$$

$$N = \frac{g_{Th-232}}{PA} \times N_A = \frac{g_{Th-232}}{232} \times 6.02 \cdot 10^{23}$$

$$A = 0.3 \text{ kBq/kg} = 300 \text{ Bq/kg}$$

sostituendo i valori per l'attività (300 Bq) di un kg di matrice

$$300 = \frac{\ln(2)}{4.434 \cdot 10^{17}} \times \frac{g_{Th-232}}{232} \times 6.02 \cdot 10^{23}$$

si ottiene la massa di:

$$g_{Th-232} = \frac{300 \times 4.434 \cdot 10^{17} \times 232}{\ln(2) \times 6.02 \cdot 10^{23}} = 0.0739$$

e dunque una concentrazione di 73,9 mg/kg.

73,9 mg/kg di Th-232 sono il limite che la RP-122 ritiene che non debba essere superato nel materiale contaminato al fine di garantire le condizioni di EXEMPTION e CLEARANCE. Cioè a dire, nel caso dell'EXEMPTION (ESENZIONE) l'autorità di controllo ritiene di non dover considerare il sito oggetto di controlli per il rischio radiologico. Nel caso del CLEARANCE (RILASCIO) l'autorità di controllo, che prima considerava un sito soggetto a controlli in materia di NORM, verificata la condizione di RILASCIO, considera il sito (precedentemente controllato) non più oggetto di futuri controlli.

Stima del livello di Esenzione/Rilascio per l'U-238<sub>sec</sub> in mg/kg relativo agli scenari sopra considerati per il PISO (interno ed esterno) e riferibili ad un membro del pubblico ivi residente

Per una popolazione del pubblico, nel caso degli scenari peggiori considerati per il calcolo dei livelli di esenzione/rilascio relativamente a diversi materiali contaminati da NORM, la RP 122 riporta come valore minimo per l'U-238 in equilibrio secolare 0,43 kBq/kg (nei casi di rifiuto roccioso, sabbioso o scorie).

Questo valore, espresso come concentrazione di attività (cioè in kilo Becquerel riferiti all'unità di massa di un kg di rifiuto) comporta un contenuto in U-238 che può essere calcolato per mezzo della seguente relazione che correla l'attività al numero di nuclei di uranio-238 presenti, attraverso la costante di decadimento  $\lambda$  di quel radionuclide:

$$A = \lambda \times N \quad \text{dove} \quad \lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad \text{e}$$

$$t_{1/2} = 4.468 \cdot 10^9 \text{ anni} = 4.468 \cdot 10^9 \times 365.25 \times 24 \times 3600 = 1.410 \cdot 10^{17} \text{ secondi}$$

$$N = \frac{g_{U-238}}{PA} \times N_A = \frac{g_{U-238}}{238} \times 6.02 \cdot 10^{23}$$

$$A = 0.43 \text{ kBq/kg} = 430 \text{ Bq/kg}$$

sostituendo i valori per l'attività (430 Bq) di un kg di matrice

$$430 = \frac{\ln(2)}{1.41 \cdot 10^{17}} \times \frac{g_{U-238}}{238} \times 6.02 \cdot 10^{23}$$

si ottiene la massa di:

$$g_{U-238} = \frac{430 \times 1.41 \cdot 10^{17} \times 238}{\ln(2) \times 6.02 \cdot 10^{23}} = 0.0346$$

e dunque una concentrazione di 34.6 mg/kg

### Considerazioni generali sui risultati ottenuti

73,9 mg/kg di Th-232<sub>sec</sub> e 34,6 mg/kg di U-238<sub>sec</sub> sono il limite che la RP-122 ritiene che non debba essere superato nel materiale contaminato al fine di garantire le condizioni di EXEMPTION and CLEARANCE per il peggior scenario contemplabile.

E' a questo punto importante soffermarsi e fare opportune e necessarie considerazioni in merito ai valori ottenuti di 73,9 mg/kg di Th-232 e di 34,6 mg/kg di U-238<sub>sec</sub>, e in particolare:

- il numero ottenuto é riferito al Th-232<sub>sec</sub> e U-238<sub>sec</sub> che si trovano in equilibrio secolare. Questa condizione non é in genere verificata come ad esempio nel caso di un sito che espone il materiale contenente NORM a fenomeni meteorologici di precipitazione quali il semplice dilavamento. Questi fenomeni infatti interrompono l'equilibrio secolare, portando in soluzione maggiormente la progenie generalmente più "mobile" dal punto di vista chimico rispetto al nuclide attinide capostipite/progenitore (Th-232, U-238). Il Th-232 e l'U-238 presenti negli armamenti hanno un contenuto di discendenti certamente inferiore a quello corrispondente all'equilibrio secolare, quindi la loro radiotossicità ragionevolmente sarà inferiore a quella calcolata nell'ipotesi di equilibrio secolare. La differenza rispetto all'equilibrio secolare sarà molto marcata nel caso di manufatti costituiti da U-238 e meno marcata per il Th-232, a causa delle diverse catene di decadimento. I valori calcolati in mg/kg (73,9 mg/kg per il torio-232 secolare e 34,6 mg/kg per l'uranio 238-sec) rappresentano pertanto una indicazione verosimilmente cautelativa rispetto alla reale situazione del suolo all'interno ed all'esterno del PISQ contenente prevalentemente radionuclidi naturali (non antropici). Pertanto la situazione reale dei luoghi corrisponde ad una condizione di rischio radiologico inferiore a quello riferibile ai livelli di esenzione/rilascio considerati nei precedenti calcoli;
- in aggiunta, non va dimenticato che il valore individuato con il calcolo dalla RP 122 (73,9 mg/kg per il torio-232 secolare e 34,6 mg/kg per l'uranio-238 secolare), già di per sé

corrisponde a c.a 10 volte il contenuto medio dei rispettivi radionuclidi nei suoli interni ed esterni al PISQ, senza considerare il fatto del più che improbabile soddisfacimento della condizione di equilibrio secolare;

- inoltre, l'uranio ed il torio prima valutati con la RP 122 ed i loro corrispondenti valori in mg/kg, sono da considerarsi come il limite massimo di radionuclidi che si possono accumulare in eccesso a causa di una attività antropica (TENORM) e quindi che si vanno a sommare ai valori medi ambientali presenti nel PISQ. Tutto ciò, nel complesso, consente di affermare che se si fossero commessi errori (anche non trascurabili) nel sottostimare il contenuto di uranio e torio presenti nei suoli, i margini sono talmente ampi da garantire una valutazione più che cautelativa del rischio radiologico anche nei confronti di eventuali sottostime analitiche rilevanti. A tal proposito è comunque bene sottolineare che la sottostima analitica riscontrata e riscontrabile per alcuni minerali naturali di torio e dovuta alla difficoltà di attacco acido in microonde di queste matrici naturali particolarmente resistenti, non avrebbe luogo qualora torio e uranio presenti avessero una origine antropica.

I valori limite calcolati, di 73,9 mg/kg per il torio-232<sub>sec</sub> e 34,6 mg/kg per l'uranio-238<sub>sec</sub>, confrontati con i valori medi del luogo ci pongono quindi in una condizione di totale sicurezza dal punto di vista radiologico, e ciò anche nei confronti dei valori di picco trovati per uranio e torio nel PISQ qualora questi fossero per intero ascrivibili a immissione antropica. Inoltre, mentre per l'eventuale utilizzo di uranio depleto all'interno del poligono non vi sono dati certi, almeno per il torio è noto che l'aggiunta antropica dovrebbe ammontare al massimo a c.a 3200 grammi (provenienti dai 1187 missili Milan fatti esplodere dal 1986 al 2003), quantità scarsa per causare un apprezzabile apporto di torio antropico nel suolo di un'area di alcuni ettari.

In conclusione è necessario ribadire che: i radionuclidi difficilmente sono in equilibrio secolare; che i valori medi di uranio e torio naturali dentro e fuori da poligono sono noti e sono stati considerati cautelativamente totalmente antropici (ipotesi poco realistica); che questi valori comunque risultano

di gran lunga inferiori ai valori per il livello di Esenzione e Rilascio indicati dalla RP 122. Pertanto la situazione reale dei luoghi corrisponde ad un contesto di rischio radiologico che è di molto inferiore a quello corrispondente al limite di esenzione più basso riportato nella RP 122. In particolare, la condizione prevista come ipotesi di lavoro al fine di porsi nella condizione di Esenzione e Rilascio (che comporta dosi inferiori a 300  $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ ), alla luce delle considerazioni sopra esposte, è talmente cautelativa da indicare che una più realistica situazione dei luoghi risulta probabilmente molto prossima a livelli di NON RILEVANZA RADIOLOGICA (che si verifica per dosi inferiori a 30  $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ ). Ciò potrebbe quindi portare a considerare irrilevante dal punto di vista radiologico il contributo di dose a seguito delle diverse attività dei lavoratori e dei membri del pubblico che, a vario titolo, si espongono al fondo di radioattività considerato e presente dentro e fuori dal PISQ. Questi valori di uno o più ordini di grandezza inferiori a quelli prima desunti in riferimento alla peggior condizione riportata nella RP 122, potrebbero quindi soddisfare totalmente anche quanto indicato dalla Normativa Italiana in materia di Radioprotezione ai fini della non rilevanza radiologica. Al solo scopo di collocare i valori di 300  $\mu\text{Sv}/\text{anno}$  e 30  $\mu\text{Sv}/\text{anno}$  sopra citati in una scala di valori di dose riferibili a diversi aspetti di vita anche quotidiana, si può fare riferimento alla Tabella 3 e alla Figura 3.

Al fine di avvalorare la presente conclusione, per una più puntuale e certificata valutazione di dose quantitativa, si veda la Relazione Radioprotezionistica di ATLAS Service a firma di Finazzi e Biazzì del 5-12-2012 in allegato (cfr. cartella *Relazioni Consulenze*, file *Atlas Service*), e per la quale è stato stilato il parere *pro-veritate* (cfr. cartella *Relazioni Consulenze*, file *Parere Prof. Campi*), a firma del Collega Prof. Fabrizio CAMPI del Politecnico di Milano, Esperto Qualificato di III grado e titolare dei corsi di “Radioprotezione” e di “Radioprotezione Applicata” presso lo stesso Ateneo.

Per quanto attiene invece il possibile rischio radiologico relativo alla contaminazione di alimenti vari, è ancora una volta necessario ribadire che l’espressione “anomala quantità” di torio e uranio in

matrici analizzate, quando questa quantità viene espressa come concentrazione data in mg/kg di uranio o di torio senza riferimento alcuno a stime di dose, non si può tradurre necessariamente in un aumento del rischio radiologico. Al fine di potersi esprimere su tale eventuale rischio radiologico, come detto in precedenza, deve essere condotto uno studio specifico di valutazione della dose derivante dalla quantità di radioelementi naturali presenti nella matrice (cfr. le precedenti parti della relazione), sia essa di tipo ambientale, vegetale o animale e quindi alimentare.

In particolare, per quanto attiene la presenza di torio (radioelemento più radiotossico dell'uranio) in matrici alimentari, un riferimento importante è costituito dal Parere n.º 10 del 19/11/2012 del Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare del Ministero della Salute, espresso specificatamente in seguito alla richiesta della Regione Autonoma della Sardegna nell'ottobre 2011 su base di documentazione analitica relativa a matrici ambientali e biologiche inerenti il PISQ e nota fino al 2012.

Nell'autorevole Parere, qui allegato (cfr. cartella *Relazioni Consulenze*, file *Parere Ministero*), il CNSA *“ritiene improbabile un incremento apprezzabile del rischio cancerogeno dovuto ad un consumo anche elevato e prolungato di tali alimenti; inoltre per alcuni alimenti per cui è stato possibile effettuare una valutazione comparativa, i dati non mostrano un evidente incremento rispetto ad un'area considerata come non esposta”*.

Pertanto, il CNSA, pure raccomandando ulteriori campionamenti in varietà più ampie di alimenti per uso umano di origine animale e vegetale prodotti in loco, e di altri presenti in acque costiere, auspicando il perdurare della vigilanza, ritiene improbabile un incremento apprezzabile del rischio cancerogeno associato a consumo di alimenti, considerando comunque che possa essere utile approfondire tali valutazioni di rischio per esposizione all'aria e al suolo, eventualmente differenziate per fasce di età (cfr. a tal proposito la Relazione Biazzi-Finazzi).

Al fine di avere un riferimento in una scala di valori di dose si faccia riferimento alle Figure 3 e 4 riportate in calce alla presente parte di Relazione.

*Considerazioni ulteriori su eventi che possono comportare rischio radio-tossicologico.*

La valutazione, così come precedentemente espressa in questa relazione peritale, si ritiene applicata ed applicabile correttamente ad una situazione stazionaria e definita nello spazio e nel tempo, quale quella riferibile alle condizioni dei luoghi “fotografate” durante i campionamenti e per le quali sono stati espressi i risultati analitici ottenuti a seguito delle campagne di caratterizzazione geochimica e ambientale nei periodi 2002-2004, 2008-2010 e per l’ultima molto più contenuta, effettuata nel luglio 2013. Al contrario, le valutazioni di radioprotezione condotte e prima riportate, non sono invece così direttamente e semplicemente attribuibili al caso di una situazione definita da un particolare e diverso contesto spazio-temporale, quale quella di un evento immediatamente conseguente esercitazioni di sparo o esplosione di ordigni. In tal caso, gli esseri viventi privi delle necessarie protezioni a difesa da situazioni di elevata polverosità, reattività chimica e sovra-concentrazione localizzate di materiale contaminante, chimico o radioattivo, potrebbero metabolizzare, inalare o ingerire quantità di contaminante che sono maggiori da quelle che, per i radionuclidi, sono state poste a fondamento nei calcoli che conducono ai valori tabulati nella RP 122. I risultati analitici relativi alle sostanze radioattive (Uranio e Torio) mostrano valori che non evidenziano scostamenti significativi rispetto a valori generali di fondo ambientale e di rapporto isotopico e quindi non possono essere con assoluta certezza riconducibili all’impiego di specifici sistemi d’arma (missili Milan, proiettili all’uranio impoverito).

In aggiunta, la stima dei valori di dose alla popolazione e ai lavoratori condotta sotto ipotesi estremamente cautelative, anche se si considerassero i valori di picco dei radionuclidi presenti come totalmente imputabili ad attività antropica, dimostrano l’assenza di un significativo rischio radiologico dentro e fuori il Poligono, se non addirittura la condizione di non rilevanza radiologica.

Tuttavia l'attività antropica di tipo militare, che ha comportato la ripetuta esplosione nel tempo di ordigni in aria e al suolo, ha certamente causato la sospensione in aria di particolato fine, e una sua consistente deposizione in superficie, soprattutto nei tempi brevi dopo l'evento. Infatti, suolo, rocce, bersagli e munizionamenti, sottoposti a estreme sollecitazioni di tipo termo-meccanico, hanno subito frantumazioni anche molto fini e fusioni localizzate con formazione di ossidi, sali minerali e metalli spesso diversamente aggregati rispetto alla matrice naturale, e spesso vaporizzati in ambiente anche probabilmente nella forma di nano-particolato. In particolare, le nano-particelle, data la loro dimensione e la loro particolare e inedita reattività, soprattutto nei tempi brevi e immediatamente successivi alla loro formazione, recentemente sono oggetto di studio e costituiscono una delle frontiere, ancora poco esplorate, della nano-tossicologia (cfr. relazione Dr.ssa Gatti agli Atti).

L'attività militare condotta nel Poligono ha favorito la dispersione di particolato con presenza di specie contenenti uranio, torio e contaminanti tossici di varia natura. Questa situazione ha sicuramente riguardato in modo più esteso e massiccio la zona Torri (area P5 o C), che dal punto di vista litologico presenta valori di fondo elevati in minerali contenenti uranio e torio naturali e altri potenziali contaminanti. In tale area sono stati ripetuti nel tempo i brillamenti di considerevoli quantità di esplosivi e ciò ha favorito la mobilitazione di particolato contenente i radionuclidi insieme ad altri ossidi e aggregati di composti di natura metallica e non. Il particolato quindi è stato disperso all'interno della stessa area e con molta probabilità può aver interessato anche le aree più vicine (P4-B, P6-D, P7-E). In aggiunta, con fenomenologia di volta in volta dipendente dalle condizioni meteo-ambientali (umidità, direzione e intensità del vento, orografia, etc.) e del particolato stesso (altezza raggiunta nell'esplosione, dimensione, densità e reattività chimico-fisica delle particelle prodotte, etc.), il particolato potrebbe essere stato trasportato fino alle aree esterne circostanti il PISQ. Questi fenomeni, nel loro insieme, potrebbero aver generato episodi di contaminazione acuta qualora una frazione importante di particolato fosse stata inalata o ingerita accidentalmente.

Sulla base di considerazioni litologiche e geologiche che esulano dalle competenze specifiche del Perito, la zona Torri parrebbe tra le meno idonee allo svolgimento delle attività di brillamento periodico di ordigni di elevato potenziale che, concentrati in buche e/o scavi con interrimenti profondi, hanno prodotto frantumazioni significative delle rocce sottostanti che possono aver quindi rilasciato in gran parte il loro contenuto in parte contaminante. Dovendo pensare a possibili sistemi pro-attivi al fine di perseguire un abbattimento consistente del particolato prodotto, potrebbe essere valutato con attenzione l'impiego di idonei sistemi di abbattimento polveri, eventualmente mutuati da sistemi commerciali disponibili, come ad esempio quelli ad acqua nebulizzata, quelli per irrigazione a pioggia di vaste aree, quelli presenti negli impianti di trattamento rifiuti o quelli come i cannoni per la produzione di neve artificiale. Questi sistemi, così come già avviene in siti all'aperto e in quelli più confinati, per i diversi scopi tecnologici potrebbero, se opportunamente adattati a questo diverso contesto militare, contribuire all'abbattimento prevalente in loco del particolato prodotto, evitando così la dispersione su una più vasta area. Ad esempio, pensando al sito dei brillamenti, i sistemi di abbattimento potrebbero essere in parte posizionati ad una altezza opportuna sulla torre metallica che domina il sito, o potrebbero essere collocati secondo uno schema perimetrale predefinito ed attentamente valutato e progettato, ad opportuna distanza dall'area "calda" dei brillamenti, in postazione fissa o semovente, schermati e protetti opportunamente dall'esplosione, e attivabili anche da remoto immediatamente prima dell'esplosione e per il lasso di tempo necessario ad un apprezzabile abbattimento delle polveri.

Le polveri, e a maggior ragione nelle loro frazioni più fini di particolato, meritano una particolare attenzione soprattutto se si verifica il rischio che vengano inalate accidentalmente dai lavoratori o dalle persone del pubblico. Questa circostanza potrebbe avverarsi con una maggiore probabilità per coloro che, privi di adeguati DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) si vengono a trovare in prossimità dell'esplosione o poco distanti e sottovento, o che possono essere impiegate in sopralluoghi o conducano attività in prossimità del luogo dell'esplosione o anche in zone limitrofe, e soprattutto prima che la matrice con i radionuclidi o contaminanti tossici abbia il tempo di diluirsi

ed inertizzarsi anche grazie a fenomeni fisici, meteorologici (vento, pioggia) e chimici (ossidazione, reazioni su superfici reattive, solubilizzazione e reazioni in soluzione, diffusione in matrice ambientale, etc.). Nell'immediatezza dell'evento o anche più tardi, qualora i fenomeni di "inertizzazione" non fossero giunti a compimento, a causa della maggior bio-disponibilità e bio-mobilità del radionuclide o del contaminante, e della presenza più concentrata nella matrice responsabile della situazione di esposizione, si potrebbe incorrere nel pericolo di una contaminazione acuta, evento che non è stato e non può essere ovviamente contemplato nella precedente trattazione radio-protezionistica su uranio e torio. E' altrettanto importante sottolineare che il personale militare (che dovrebbe quindi appartenere alla categoria lavoratori) non è specificamente contemplato (né escluso) nella normativa 230/1995 e 241/2000 in materia di radioprotezione. Le particolari funzioni operative che è chiamato a svolgere tale categoria di personale potrebbero non rientrare infatti nei limiti previsti da questa normativa. Tuttavia, è importante indicare ad esempio che la pericolosità per la salute, riguardante in special modo il Torio contenuto nel sistema di guida dei missili Milan, è stata riconosciuta nel corso della sperimentazione di questo sistema di arma al punto da abbandonare l'impiego di tale radio-elemento in questo tipo di armamento. La pericolosità è peraltro confermata da Direttive del Ministero della Difesa che prescrivono la delimitazione delle aree dedicate ad attività militari che abbiano impiegato Missili Milan e l'interdizione all'accesso di personale non autorizzato.

## **Riferimenti normativi citati**

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale"

Decreto Legislativo del 17 marzo 1995 n° 230 modificato dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 187, dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241, dal D.Lgs. 9 maggio 2001, n. 257, dal D.Lgs. 26 marzo 2001, n.151 e dalla Legge 1 marzo 2002, n. 39

"Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti."

European Commission Radiation protection 122. Practical use of the concepts of clearance and exemption. Part II - Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources (2001).

### **Elenco degli ALLEGATI richiamati in questa parte della RELAZIONE PERITALE**

“Relazione radio-protezionistica sulla presunta contaminazione da Th-232 sul sito del Poligono Militare di Salto di Quirra”. Dott. Pier Battista Finazzi, Prof. Luisa Biazzì. ATLAS SERVICES SrL 05/12/2012.

Giudizio Tecnico sulla “Relazione radio-protezionistica sulla presunta contaminazione da Th-232 sul sito del Poligono Militare di Salto di Quirra”. Prof. Ing. Fabrizio Campi E.Q. III Grado. Politecnico di Milano, 23/05/2014.

“Parere sul rischio legato alla presenza di Torio in matrici alimentari”. Parere n. 10 del 19/11/2012. Ministero della Salute - Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare.

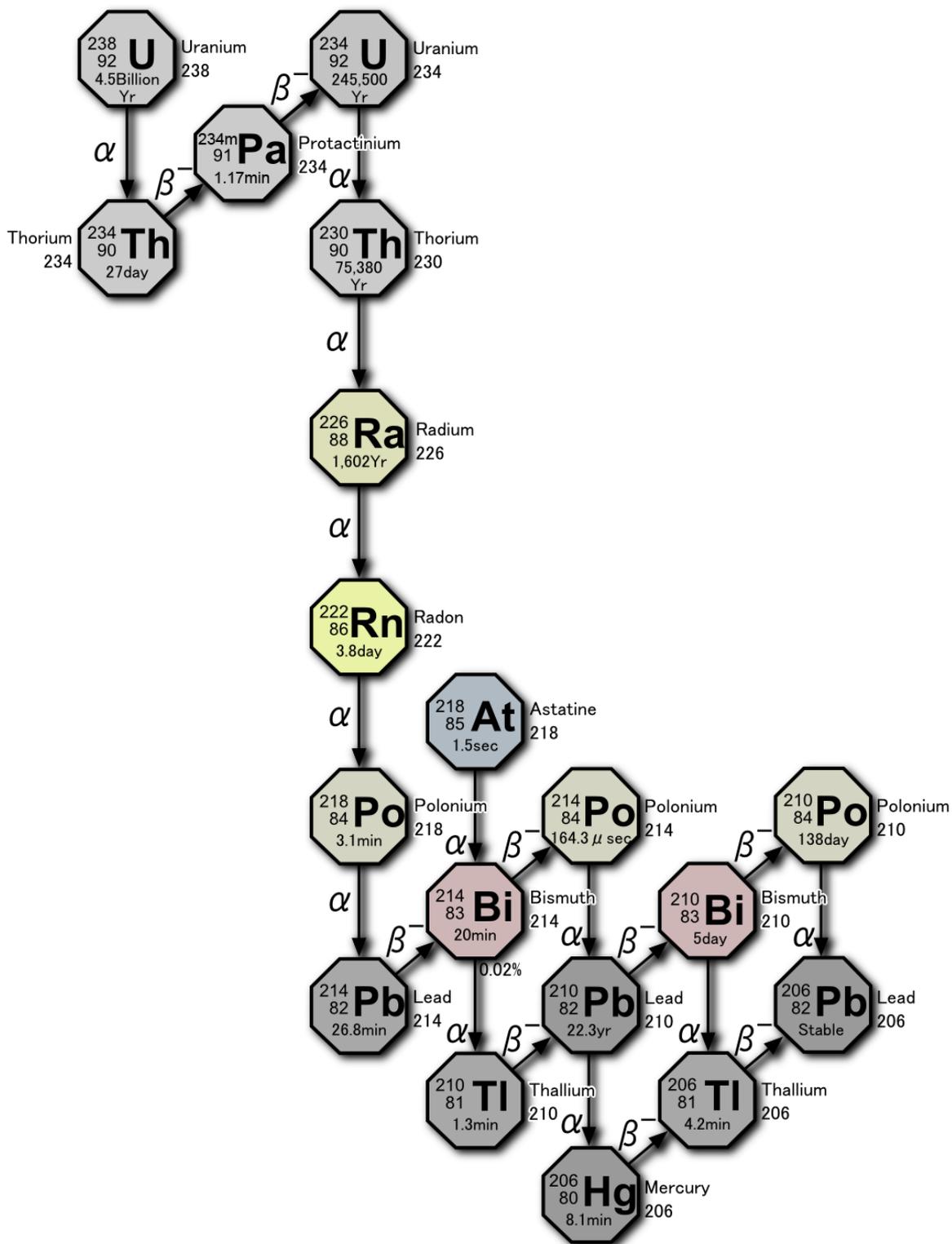


Figura 1. Schema della catena o “serie” di decadimento dell’Uranio 238.

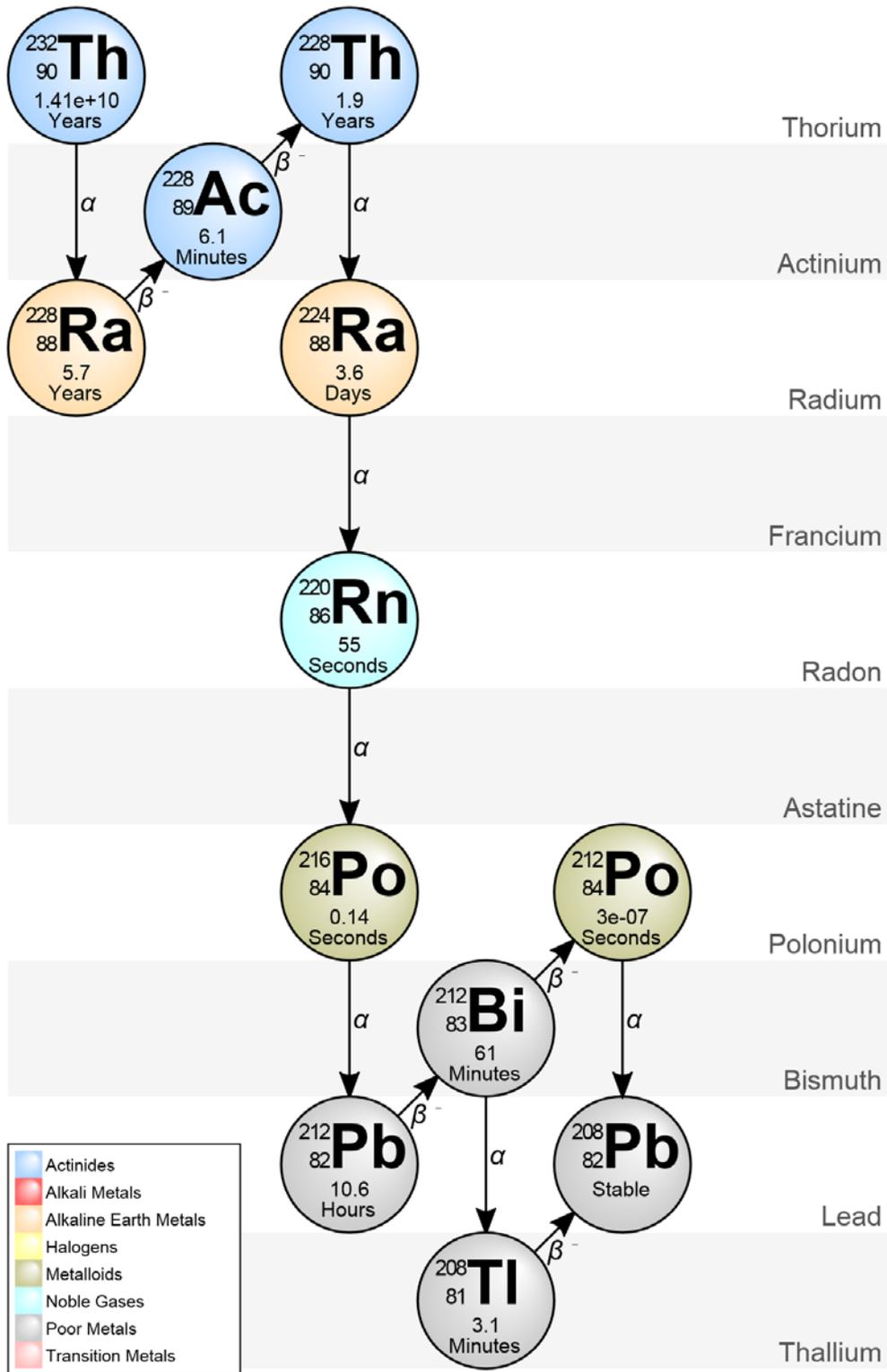


Figura 2. Schema della catena o “serie” di decadimento del Torio 232

Tabella 1. Dati relativi alla catena o “serie” di decadimento dell’Uranio 238

| nuclide           | tipo di decadimento                      | emivita              | energia rilasciata, MeV | prodotto di decadimento                |
|-------------------|--|----------------------|-------------------------|--|
| $^{238}\text{U}$  | $\alpha$                                 | $4.468 \cdot 10^9$ a | 4.270                   | $^{234}\text{Th}$                      |
| $^{234}\text{Th}$ | $\beta^-$                                | 24.10 d              | 0.273                   | $^{234}\text{Pa}$                      |
| $^{234}\text{Pa}$ | $\beta^-$                                | 6.70 h               | 2.197                   | $^{234}\text{U}$                       |
| $^{234}\text{U}$  | $\alpha$                                 | 245500 a             | 4.859                   | $^{230}\text{Th}$                      |
| $^{230}\text{Th}$ | $\alpha$                                 | 75380 a              | 4.770                   | $^{226}\text{Ra}$                      |
| $^{226}\text{Ra}$ | $\alpha$                                 | 1602 a               | 4.871                   | $^{222}\text{Rn}$                      |
| $^{222}\text{Rn}$ | $\alpha$                                 | 3.8235 d             | 5.590                   | $^{218}\text{Po}$                      |
| $^{218}\text{Po}$ | $\alpha$ 99.98 %<br>$\beta^-$ 0.02 %     | 3.10 min             | 6.115<br>0.265          | $^{214}\text{Pb}$<br>$^{218}\text{At}$ |
| $^{218}\text{At}$ | $\alpha$ 99.90 %<br>$\beta^-$ 0.10 %     | 1.5 s                | 6.874<br>2.883          | $^{214}\text{Bi}$<br>$^{218}\text{Rn}$ |
| $^{218}\text{Rn}$ | $\alpha$                                 | 35 ms                | 7.263                   | $^{214}\text{Po}$                      |
| $^{214}\text{Pb}$ | $\beta^-$                                | 26.8 min             | 1.024                   | $^{214}\text{Bi}$                      |
| $^{214}\text{Bi}$ | $\beta^-$ 99.98 %<br>$\alpha$ 0.02 %     | 19.9 min             | 3.272<br>5.617          | $^{214}\text{Po}$<br>$^{210}\text{Tl}$ |
| $^{214}\text{Po}$ | $\alpha$                                 | 0.1643 ms            | 7.883                   | $^{210}\text{Pb}$                      |
| $^{210}\text{Tl}$ | $\beta^-$                                | 1.30 min             | 5.484                   | $^{210}\text{Pb}$                      |
| $^{210}\text{Pb}$ | $\beta^-$                                | 22.3 a               | 0.064                   | $^{210}\text{Bi}$                      |
| $^{210}\text{Bi}$ | $\beta^-$ 99.99987%<br>$\alpha$ 0.00013% | 5.013 d              | 1.426<br>5.982          | $^{210}\text{Po}$<br>$^{206}\text{Tl}$ |
| $^{210}\text{Po}$ | $\alpha$                                 | 138.376 d            | 5.407                   | $^{206}\text{Pb}$                      |
| $^{206}\text{Tl}$ | $\beta^-$                                | 4.199 min            | 1.533                   | $^{206}\text{Pb}$                      |
| $^{206}\text{Pb}$ | -  | stabile              | -                       | -                                      |

Tabella 2. Dati relativi alla catena o “serie” di decadimento del Torio 232

| nuclide           | tipo di decadimento                 | emivita                 | energia rilasciata, MeV | prodotto di decadimento                |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| $^{232}\text{Th}$ | $\alpha$                            | $1.405 \cdot 10^{10}$ a | 4.081                   | $^{228}\text{Ra}$                      |
| $^{228}\text{Ra}$ | $\beta^-$                           | 5.75 a                  | 0.046                   | $^{228}\text{Ac}$                      |
| $^{228}\text{Ac}$ | $\beta^-$                           | 6.25 h                  | 2.124                   | $^{228}\text{Th}$                      |
| $^{228}\text{Th}$ | $\alpha$                            | 1.9116 a                | 5.520                   | $^{224}\text{Ra}$                      |
| $^{224}\text{Ra}$ | $\alpha$                            | 3.6319 d                | 5.789                   | $^{220}\text{Rn}$                      |
| $^{220}\text{Rn}$ | $\alpha$                            | 55.6 s                  | 6.404                   | $^{216}\text{Po}$                      |
| $^{216}\text{Po}$ | $\alpha$                            | 0.145 s                 | 6.906                   | $^{212}\text{Pb}$                      |
| $^{212}\text{Pb}$ | $\beta^-$                           | 10.64 h                 | 0.570                   | $^{212}\text{Bi}$                      |
| $^{212}\text{Bi}$ | $\beta^-$ 64.06%<br>$\alpha$ 35.94% | 60.55 min               | 2.252<br>6.208          | $^{212}\text{Po}$<br>$^{208}\text{Tl}$ |
| $^{212}\text{Po}$ | $\alpha$                            | 299 ns                  | 8.955                   | $^{208}\text{Pb}$                      |
| $^{208}\text{Tl}$ | $\beta^-$                           | 3.053 min               | 4.999                   | $^{208}\text{Pb}$                      |
| $^{208}\text{Pb}$ | stabile                             | .                       | .                       |  |

## ESTRATTO da “European Commission Radiation Protection 122 Part II”

*Paragrafo 6.1 pagine da 70 a 73 contenenti testo e tabelle 27, 28, 29 e 30.*

### 6. RESULTS

#### 6.1. Calculation of exemption / clearance levels

In this section the results of the calculations are presented as activity concentrations (in kBq/kg) for all relevant decay chains and single nuclides concerning NORM and for all five material categories: rock, ash, sand, slag, sludge from oil and gas industry. The notation used for the scenarios refers to the chapter number in which the scenario is described. These are presented in Table 26.

Table 26: Overview of the notation used for the scenarios

| Scenario no.                                       | Description of the scenario                                |
|--|--|
| <b>Working scenarios</b>                           |  |
| 4.2.1  | Transport long distance                                    |
| 4.2.2  | Transport short distance                                   |
| 4.2.3a   | Storage moderate quantities indoors, with processing       |
| 4.2.3b   | Storage, moderate quantities indoors, without processing   |
| 4.2.4a   | Storage, large quantities outdoors, with processing        |
| 4.2.4b   | Storage, large quantities outdoors, without processing     |
| 4.2.5a/b   | Disposal/landfill, large/small NORM amount                 |
| 4.2.6  | Road construction  |
| 4.2.7  | Building construction (concrete walls with NORM additives) |
| 4.2.8  | Building construction (gypsum plate walls)                 |
| <b>Scenarios for members of the general public</b> |  |
| 4.3.1  | Playground covered with NORM                               |
| 4.3.2  | Residence near a heap                                      |
| 4.3.3  | Building construction (walls of NORM)                      |
| 4.3.4  | Building construction (gypsum plate walls)                 |

The scenarios include all age groups (for working scenarios: only adults, for scenarios with exposure situations for members of the general public: all age groups as defined in the BSS).

The sets of exemption / clearance levels are derived based on the following conditions:

- A dose criterion of 0.3 mSv/a is used as the radiological protection goal concerning the exposure of a reference person (worker or member of the general public) by NORM.
- This dose criterion is to be understood as the extra dose in addition to background. Suitable conservative assumptions on the background dose have been used for each exposure situation. Addition of background dose to the 0.3 mSv/a criterion results in an extended dose criterion (see section 4.1.4) for which the calculations have been carried out. This means that the derived exemption / clearance levels refer to the gross activity of the NORM material.
- As the relevant scenario determining the lowest exemption / clearance level in accordance with the dose criterion described above, the scenario with the highest dose contribution is chosen. This maximum is determined with regard to the ensemble of both categories of reference persons (workers and members of the general public) as well as the maximum of all age groups.
- One set of exemption / clearance levels is determined from the extended dose criterion for each material category examined here (rock, ash, sand, slag, sludge from the oil/gas industry). If appropriate, those sets can be combined.

The following tables show the results of the exemption/clearance level calculations for the five material categories (waste rock: Table 27; ash: Table 28; sand: Table 29; slag: Table 30; sludge from the oil and gas industry: Table 31) in kBq/kg. These tables should be read as follows:

- the heading refers to the scenarios outlined in Table 26; in the corresponding chapter;
- each line lists the results of exemption/clearance level calculations for the nuclide or decay chain for each scenario;
- at the end of each line, the minimum of the scenario specific exemption/clearance levels are given for worker scenarios (4.2.1 – 4.2.8) and for general public scenarios (4.3.1 – 4.3.4);
- the very last column provides the overall minimum;
- columns have been left blank if the specific scenario does not apply to the material type in question.

The exemption / clearance levels are given for all relevant decay chains and single nuclides. The results are shown for each material category and all scenarios examined as well as for all age groups (for working scenarios: only adults, for scenarios with exposure situations for members of the general public: all age groups as defined in the BSS).

Table 27: Results of the calculation of exemption/clearance levels for waste rock type NORM in [kBq/kg]

| Scenario  | 4.2.1 | 4.2.2 | 4.2.3a | 4.2.3b | 4.2.4a | 4.2.4b | 4.2.5 | 4.2.6 | 4.2.7 | 4.2.8 | 4.3.1 | 4.3.2 | 4.3.3 | 4.3.4 | Min-Work | Min-Public | Min-All |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------------|---------|
| U-238sec  | 3.8   | 2.7   | 1.3    | 2.2    | 1.8    | 2.6    | 0.68  | 0.65  | 1.2   |       | 1.4   | 0.75  | 0.43  |       | 0.65     | 0.43       | 0.43    |
| U nat     | 130   | 41    | 5.2    | 18     | 9.9    | 37     | 9.6   | 12    | 41    |       | 47    | 28    | 33    |       | 5.2      | 28         | 5.2     |
| Th-230    | 280   | 70    | 8.6    | 26     | 16     | 44     | 17    | 22    | 95    |       | 84    | 27    | 5900  |       | 8.6      | 27         | 8.6     |
| Ra-226+   | 4.1   | 3.5   | 4.2    | 4.7    | 4.5    | 4.8    | 0.87  | 0.78  | 1.3   |       | 2     | 1.3   | 0.44  |       | 0.78     | 0.44       | 0.44    |
| Pb-210+   | 360   | 90    | 17     | 22     | 20     | 23     | 22    | 29    | 80    |       | 18    | 4     | 2100  |       | 17       | 4          | 4.0     |
| Po-210    | 200   | 51    | 9.6    | 13     | 11     | 13     | 13    | 16    | 46    |       | 7.5   | 3     | 91000 |       | 9.6      | 3          | 3.0     |
| U-235sec  | 13    | 5     | 0.73   | 2.1    | 1.3    | 3.5    | 1     | 1.2   | 3.2   |       | 3.1   | 1.8   | 1.7   |       | 0.73     | 1.7        | 0.73    |
| U-235+    | 120   | 61    | 10     | 27     | 17     | 41     | 7.4   | 8.3   | 18    |       | 18    | 18    | 6.5   |       | 7.4      | 6.5        | 6.5     |
| Pu-231    | 91    | 26    | 3.4    | 9.4    | 6      | 14     | 6     | 7.6   | 26    |       | 25    | 7.2   | 33    |       | 3.4      | 7.2        | 3.4     |
| Ac-227+   | 18    | 6.9   | 1      | 3.1    | 1.8    | 5.2    | 1.4   | 1.7   | 4.7   |       | 4.5   | 2.6   | 2.4   |       | 1        | 2.4        | 1.0     |
| Th-232sec | 2.5   | 1.9   | 0.96   | 1.9    | 1.4    | 2.4    | 0.49  | 0.45  | 0.86  |       | 1.2   | 0.56  | 0.3   |       | 0.45     | 0.3        | 0.3     |
| Th-232    | 180   | 45    | 5.4    | 18     | 10     | 32     | 11    | 14    | 65    |       | 52    | 3.1   | 10000 |       | 5.4      | 3.1        | 3.1     |
| Ra-228+   | 7.7   | 6.3   | 6      | 6.8    | 6.5    | 7      | 1.5   | 1.4   | 2.4   |       | 2.8   | 1     | 0.82  |       | 1.4      | 0.82       | 0.82    |
| Th-228+   | 3.8   | 2.9   | 1.4    | 3.1    | 2.3    | 4.1    | 0.78  | 0.7   | 1.4   |       | 2.2   | 1.4   | 0.47  |       | 0.7      | 0.47       | 0.47    |
| K-40      | 41    | 36    | 58     | 58     | 58     | 58     | 9.9   | 8.3   | 14    |       | 24    | 18    | 4.2   |       | 8.3      | 4.2        | 4.2     |

Table 28: Results of the calculation of exemption/clearance levels for ash type NORM in [kBq/kg]

| Scenario  | 4.2.1 | 4.2.2 | 4.2.3a | 4.2.3b | 4.2.4a | 4.2.4b | 4.2.5 | 4.2.6 | 4.2.7 | 4.2.8 | 4.3.1 | 4.3.2 | 4.3.3 | 4.3.4 | Min-Work | Min-Public | Min-All |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------------|---------|
| U-238sec  | 3.8   | 2.7   | 1.3    | 1.8    | 1.8    | 2.2    | 0.68  | 4.7   | 3.4   | 2.3   | 12    | 1.2   | 1     | 1.5   | 0.68     | 1          | 0.68    |
| U nat     | 130   | 41    | 5.2    | 9.9    | 9.9    | 18     | 9.6   | 85    | 120   | 18    | 430   | 29    | 79    | 82    | 5.2      | 29         | 5.2     |
| Th-230    | 280   | 70    | 8.6    | 16     | 16     | 26     | 17    | 160   | 270   | 26    | 760   | 44    | 14000 | 7200  | 8.6      | 44         | 8.6     |
| Ra-226+   | 4.1   | 3.5   | 4.2    | 4.5    | 4.5    | 4.7    | 0.87  | 5.7   | 3.8   | 5.2   | 18    | 1.6   | 1.1   | 1.5   | 0.87     | 1.1        | 0.87    |
| Pb-210+   | 360   | 90    | 17     | 20     | 20     | 22     | 22    | 210   | 220   | 22    | 160   | 24    | 5100  | 1400  | 17       | 24         | 17      |
| Po-210    | 200   | 51    | 9.6    | 11     | 11     | 13     | 13    | 120   | 130   | 13    | 68    | 14    | 2.2E5 | 3.0E5 | 9.6      | 14         | 9.6     |
| U-235sec  | 13    | 5     | 0.73   | 1.3    | 1.3    | 2.1    | 1     | 8.7   | 9.1   | 2.1   | 28    | 2.6   | 4     | 4.2   | 0.73     | 2.6        | 0.73    |
| U-235+    | 120   | 61    | 10     | 17     | 17     | 27     | 7.4   | 61    | 49    | 25    | 160   | 18    | 16    | 15    | 7.4      | 15         | 7.4     |
| Pu-231    | 91    | 26    | 3.4    | 6      | 6      | 9.4    | 6     | 55    | 74    | 9.5   | 230   | 15    | 79    | 84    | 3.4      | 15         | 3.4     |
| Ac-227+   | 18    | 6.9   | 1      | 1.8    | 1.8    | 3.1    | 1.4   | 12    | 13    | 3     | 40    | 3.8   | 5.8   | 6.2   | 1        | 3.8        | 1.0     |
| Th-232sec | 2.5   | 1.9   | 0.96   | 1.4    | 1.4    | 1.9    | 0.49  | 3.3   | 2.4   | 2.1   | 11    | 0.87  | 0.72  | 1.1   | 0.49     | 0.72       | 0.49    |
| Th-232    | 180   | 45    | 5.4    | 10     | 10     | 18     | 11    | 100   | 180   | 18    | 480   | 16    | 25000 | 12000 | 5.4      | 16         | 5.4     |
| Ra-228+   | 7.7   | 6.3   | 6      | 6.5    | 6.5    | 6.8    | 1.5   | 10    | 6.8   | 7.1   | 25    | 2.5   | 2     | 2.8   | 1.5      | 2          | 1.5     |
| Th-228+   | 3.8   | 2.9   | 1.4    | 2.3    | 2.3    | 3.1    | 0.78  | 5.1   | 3.8   | 3.6   | 20    | 1.4   | 1.1   | 1.8   | 0.78     | 1.1        | 0.78    |
| K-40      | 41    | 36    | 58     | 58     | 58     | 58     | 9.9   | 60    | 40    | 68    | 220   | 18    | 10    | 18    | 9.9      | 10         | 9.9     |

Table 29: Results of the calculation of exemption/clearance levels for sand type NORM in [kBq/kg]

| Scenario  | 4.2.1 | 4.2.2 | 4.2.3a | 4.2.3b | 4.2.4a | 4.2.4b | 4.2.5 | 4.2.6 | 4.2.7 | 4.2.8 | 4.3.1 | 4.3.2 | 4.3.3 | 4.3.4 | Min-Work | Min-Public | Min-All |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------------|---------|
| U-238sec  | 3.8   | 2.7   | 1.3    | 1.8    | 1.8    | 2.2    | 0.68  | 0.76  | 1.2   |       | 1.4   | 1.3   | 0.43  |       | 0.68     | 0.43       | 0.43    |
| U nat     | 130   | 41    | 5.2    | 9.9    | 9.9    | 18     | 9.6   | 14    | 41    |       | 47    | 30    | 33    |       | 5.2      | 30         | 5.2     |
| Th-230    | 280   | 70    | 8.6    | 16     | 16     | 26     | 17    | 26    | 95    |       | 84    | 50    | 5900  |       | 8.6      | 50         | 8.6     |
| Ra-226+   | 4.1   | 3.5   | 4.2    | 4.5    | 4.5    | 4.7    | 0.87  | 0.92  | 1.3   |       | 2     | 1.6   | 0.44  |       | 0.87     | 0.44       | 0.44    |
| Pb-210+   | 360   | 90    | 17     | 20     | 20     | 22     | 22    | 33    | 80    |       | 18    | 37    | 2100  |       | 17       | 18         | 17      |
| Po-210    | 200   | 51    | 9.6    | 11     | 11     | 13     | 13    | 19    | 46    |       | 7.5   | 22    | 91000 |       | 9.6      | 7.5        | 7.5     |
| U-235sec  | 13    | 5     | 0.73   | 1.3    | 1.3    | 2.1    | 1     | 1.4   | 3.2   |       | 3.1   | 2.9   | 1.7   |       | 0.73     | 1.7        | 0.73    |
| U-235+    | 120   | 61    | 10     | 17     | 17     | 27     | 7.4   | 9.8   | 18    |       | 18    | 18    | 6.5   |       | 7.4      | 6.5        | 6.5     |
| Pu-231    | 91    | 26    | 3.4    | 6      | 6      | 9.4    | 6     | 8.9   | 26    |       | 25    | 18    | 33    |       | 3.4      | 18         | 3.4     |
| Ac-227+   | 18    | 6.9   | 1      | 1.8    | 1.8    | 3.1    | 1.4   | 2     | 4.7   |       | 4.5   | 4.2   | 2.4   |       | 1        | 2.4        | 1.0     |
| Th-232sec | 2.5   | 1.9   | 0.96   | 1.4    | 1.4    | 1.9    | 0.49  | 0.53  | 0.86  |       | 1.2   | 0.93  | 0.3   |       | 0.49     | 0.3        | 0.3     |
| Th-232    | 180   | 45    | 5.4    | 10     | 10     | 18     | 11    | 17    | 65    |       | 52    | 28    | 10000 |       | 5.4      | 28         | 5.4     |
| Ra-228+   | 7.7   | 6.3   | 6      | 6.5    | 6.5    | 6.8    | 1.5   | 1.7   | 2.4   |       | 2.8   | 2.8   | 0.82  |       | 1.5      | 0.82       | 0.82    |
| Th-228+   | 3.8   | 2.9   | 1.4    | 2.3    | 2.3    | 3.1    | 0.78  | 0.82  | 1.4   |       | 2.2   | 1.4   | 0.47  |       | 0.78     | 0.47       | 0.47    |
| K-40      | 41    | 36    | 58     | 58     | 58     | 58     | 9.9   | 9.7   | 14    |       | 24    | 18    | 4.2   |       | 9.7      | 4.2        | 4.2     |

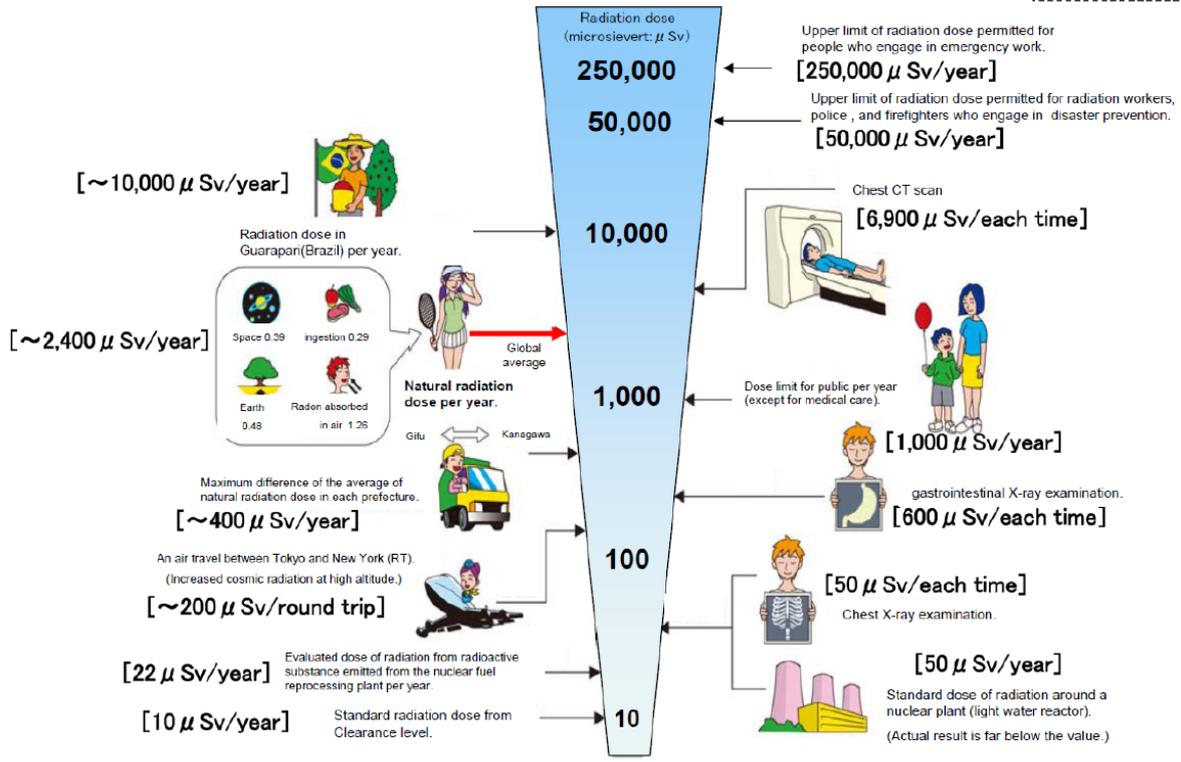
Table 30: Results of the calculation of exemption/clearance levels for slag type NORM in [kBq/kg]

| Scenario  | 4.2.1 | 4.2.2 | 4.2.3a | 4.2.3b | 4.2.4a | 4.2.4b | 4.2.5 | 4.2.6 | 4.2.7 | 4.2.8 | 4.3.1 | 4.3.2 | 4.3.3 | 4.3.4 | Min-Work | Min-Public | Min-All |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------------|---------|
| U-238sec  | 3.8   | 2.7   | 1.3    | 2.2    | 1.8    | 2.6    | 0.68  | 0.65  | 1.2   |       | 1.4   | 1.3   | 0.43  |       | 0.49     | 0.43       | 0.43    |
| U nat     | 130   | 41    | 5.2    | 18     | 9.9    | 37     | 9.6   | 12    | 41    |       | 47    | 49    | 33    |       | 5.2      | 33         | 5.2     |
| Th-230    | 280   | 70    | 8.6    | 26     | 16     | 44     | 17    | 22    | 95    |       | 84    | 87    | 5900  |       | 8.6      | 84         | 8.6     |
| Ra-226+   | 4.1   | 3.5   | 4.2    | 4.7    | 4.5    | 4.8    | 0.87  | 0.78  | 1.3   |       | 2     | 1.6   | 0.44  |       | 0.58     | 0.44       | 0.44    |
| Pb-210+   | 360   | 90    | 17     | 22     | 20     | 23     | 22    | 29    | 80    |       | 18    | 27    | 2100  |       | 17       | 18         | 17      |
| Po-210    | 200   | 51    | 9.6    | 13     | 11     | 13     | 13    | 16    | 46    |       | 7.5   | 15    | 91000 |       | 9.6      | 7.5        | 7.5     |
| U-235sec  | 13    | 5     | 0.73   | 2.1    | 1.3    | 3.5    | 1     | 1.2   | 3.2   |       | 3.1   | 3.6   | 1.7   |       | 0.73     | 1.7        | 0.73    |
| U-235+    | 120   | 61    | 10     | 27     | 17     | 41     | 7.4   | 8.3   | 18    |       | 18    | 21    | 6.5   |       | 7.3      | 6.5        | 6.5     |
| Pu-231    | 91    | 26    | 3.4    | 9.4    | 6      | 14     | 6     | 7.6   | 26    |       | 25    | 25    | 33    |       | 3.4      | 25         | 3.4     |
| Ac-227+   | 18    | 6.9   | 1      | 3.1    | 1.8    | 5.2    | 1.4   | 1.7   | 4.7   |       | 4.5   | 5.2   | 2.4   |       | 1        | 2.4        | 1.0     |
| Th-232sec | 2.5   | 1.9   | 0.96   | 1.9    | 1.4    | 2.4    | 0.49  | 0.45  | 0.86  |       | 1.2   | 0.93  | 0.3   |       | 0.35     | 0.3        | 0.3     |
| Th-232    | 180   | 45    | 5.4    | 18     | 10     | 32     | 11    | 14    | 65    |       | 52    | 22    | 10000 |       | 5.4      | 22         | 5.4     |
| Ra-228+   | 7.7   | 6.3   | 6      | 6.8    | 6.5    | 7      | 1.5   | 1.4   | 2.4   |       | 2.8   | 2.6   | 0.82  |       | 1        | 0.82       | 0.82    |
| Th-228+   | 3.8   | 2.9   | 1.4    | 3.1    | 2.3    | 4.1    | 0.78  | 0.7   | 1.4   |       | 2.2   | 1.5   | 0.47  |       | 0.56     | 0.47       | 0.47    |
| K-40      | 41    | 36    | 58     | 58     | 58     | 58     | 9.9   | 8.3   | 14    |       | 24    | 18    | 4.2   |       | 6.6      | 4.2        | 4.2     |



# Radiation in Daily-life

※Unit :  $\mu\text{Sv}$



2

Figura 4

## Quesito

*Omissis*

## II

Dica il perito se lo studio geochimico commissionato dal Ministero della Difesa al Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena come da convenzione in data 12 dicembre 2002, sia stato condotto secondo criteri e metodologie conformi a quelle comunemente indicate dalla letteratura e dalla comunità scientifica, verificando altresì la congruità delle analisi svolte, anche alla luce dei rilievi critici svolti sul punto dal C.T. del Pubblico Ministero, dott. Lodi Rizzini e avuto riguardo alle previsioni di cui alla convenzione sopra richiamata.

In caso negativo, dica se la divergenza tra i criteri seguiti e quelli indicati dalla miglior scienza ed esperienza sia tale da evidenziare coscienza e volontà degli imputati di agire allo scopo di ottenere esiti non corrispondenti alla effettiva realtà dei fatti.

Dica inoltre se per le scelte metodologiche adottate o per i risultati ottenuti, l'eventuale inattendibilità della indagine condotta Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena fosse riconoscibile e, in caso affermativo, indichi a quale livello di conoscenza.

*...Omissis...*

Lo studio geochimico commissionato dal Ministero della Difesa al Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena (nel seguito indicato come DSA), come da convenzione con lo stesso Ministero stabilita in data 12/12/2002, prevede l'affidamento di un'indagine sullo stato dell'ambiente nella Sardegna sud-orientale, estesa ai Poligoni Militari del Salto di Quirra ed aree limitrofe.

Il Ministero affida al DSA-Sezione di Geochimica Ambientale l'esecuzione di indagini scientifiche inerenti lo stato dell'ambiente nell'area sopra citata, con particolare riferimento alla presenza di elementi pesanti tossici.

L'Allegato I alla convenzione identifica in modo specifico che *“l'area di indagine ricadrà in un quadrilatero relativamente più ampio delle aree a vincolo militare”* precisando ulteriormente che *“all'esterno dei poligoni militari sono note aree con pronunciate anomalie per elementi pesanti tossici”*.

L'Allegato I precisa nel seguito che *“le ricerche in progetto saranno incentrate sullo studio geochimico di numerose, e diversificate, matrici ambientali quali: suolo, acque superficiali e sotterranee, sedimenti fluviali ed organismi (bioindicatori), e riguarderà un ampio spettro di elementi chimici comprendenti i più rilevanti dal punto di vista tossicologico”*.

Nella parte iniziale dell'Allegato 1 si dettaglia che le attività svolte nell'ambito di programmate ricerche geochimiche sono *“finalizzate alla determinazione dei livelli ambientali di uranio e altri elementi pesanti tossici (EPT)”*.

In più parti dell'Allegato 1, in particolare dove sono delineate la **fase 3** e la **fase 4**, viene richiamato che le analisi delle matrici devono fornire utili indicazioni sugli EPT (elementi pesanti tossici), che l'attività di indagine riguarda un ambito geochimico-ambientale e che *“è assolutamente primario definire la più idonea tipologia e geometria di campionamento in grado di fornire, con un congruo numero di campioni rappresentativi, una corretta e completa descrizione del fenomeno naturale in studio”*.

La **fase 4**, dedicata al campionamento delle diverse matrici ambientali, specifica che *“saranno campionati principalmente suoli superficiali (top soils) riconducibili ai primi 20 cm in aree indisturbate ed ai primi 40 cm in aree interessate da attività agricola”*.

Al termine della descrizione della **fase 4** si precisa che *“le determinazioni analitiche elementari degli EPT saranno effettuate mediante ICP-MS”*.

La **fase 5** riguarda la determinazione di specifici *datasets* e la loro elaborazione statistica.

La **fase 6** concerne le analisi geostatistiche dei dati geochimici ottenuti e la loro rappresentazione cartografica allo scopo di *“procedere alla mappatura dei contenuti di uranio e degli altri EPT di interesse nei suoli dell'area studio con produzione di carte geochimiche in ambiente GIS”*.

Lo scopo finale è quello di *“usare la potenzialità della modellistica geochimica per lo studio sia del comportamento di elementi e composti tossici in sistemi di interazione acqua-suolo, sia della diffusione degli stessi in aria, nelle acque superficiali e sotterranee”*.

Riassumendo, risulta chiaro in più parti della convenzione sottoscritta che il personale del DSA di Siena doveva procedere a:

- organizzare e realizzare uno studio geochimico ambientale su numerose matrici presenti e prelevate nelle aree individuate (suoli, acque, sedimenti fluviali ed organismi bioindicatori, es licheni);
- raccogliere un numero di campioni distribuiti nell'area oggetto di studio (area di centinaia di Km<sup>2</sup>), congruo e sufficientemente rappresentativo per le finalità dello studio commissionato;

- effettuare analisi per stabilire il contenuto di uranio ed elementi pesanti tossici (EPT) più rilevanti dal punto di vista tossicologico (anche per il fatto che sono note all'esterno di poligoni aree con pronunciate anomalie per gli elementi pesanti tossici);
- progettare, allestire e consegnare al Ministero della Difesa un sistema completo per la creazione di un database ambientale con l'introduzione di tutti i dati geochimici ambientali secondo quanto già noto in precedenza e ulteriormente acquisito dal DSA.

Si deve concludere pertanto che lo studio commissionato dal Ministero della Difesa al DSA dell'Università di Siena doveva garantire il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- prevedere la determinazione dei livelli ambientali di uranio e di elementi pesanti tossici (EPT) nelle diverse matrici specificate, nelle aree interne ed esterne ai Poligoni Militari così come indicate nella convenzione. Essendo dichiarato che l'analisi di uranio e EPT sarebbe stata condotta con una strumentazione analitica molto performante quale l'ICP-MS, specificamente dotato di un rivelatore in grado di distinguere i diversi elementi anche in funzione della loro massa (es: isotopi U-235 e U-238), ciò avrebbe consentito di poter avere indicazioni anche sul valore del rapporto isotopico U235/U238 nelle matrici, argomento di acceso interesse in ambito militare dove vengono impiegati anche proiettili costruiti con uranio depleto (DU);
- prevedere la determinazione di un ampio spettro di elementi pesanti tossici (EPT), comprendenti i più rilevanti dal punto di vista tossicologico, in quanto erano note all'esterno dei poligoni militari aree con pronunciate anomalie per elementi pesanti tossici (EPT).

Tuttavia, la convenzione non specifica né il numero degli EPT né la tipologia. A tal proposito il torio, non richiesto quindi esplicitamente nello studio commissionato, potrebbe non essere stato considerato un metallo pesante *“rilevante dal punto di vista tossicologico”*, se inquadrato strettamente all'interno di una indagine geochimica. Diversamente i metalli pesanti investigati dal DSA (cromo, cobalto, nichel, rame, zinco, arsenico, cadmio, tallio, piombo, alcuni non pesanti ma ugualmente tossici), data la loro importante presenza in alcune formazioni rocciose e litologiche della zona, spesso soggette ad attività minerarie ed esplosive, sono di fatto sicuramente rilevanti dal punto di vista tossicologico.

## **Considerazioni relative a criteri e metodiche con le quali è stato condotto lo studio geochimico commissionato.**

La relazione finale del DSA del giugno 2004 riporta lo studio condotto ed i risultati conseguiti sulla base di dati analitici ottenuti sia impiegando criteri di qualità di controllo interno (impiego di SRM Standard Reference Materials), che esterno attraverso valutazioni inter-laboratorio con l'ausilio di laboratori nazionali e internazionali.

L'area di studio oggetto delle indagini geochimico-ambientali stabilita nella convenzione è stata ampiamente inquadrata dal DSA sia negli aspetti geologici, geochimici, giacimentologici e minerari che dal punto di vista dei loro importanti effetti sullo stato dei suoli e delle acque degli ambienti all'interno e all'esterno dei Poligoni Militari.

Lo studio geochimico-ambientale commissionato riguardava un'area di più di un centinaio di km<sup>2</sup>.

L'attività di campionamento è stata condotta in 5 campagne prelievi, da marzo 2002 a novembre 2003 raccogliendo complessivamente:

- 30 campioni di roccia
- 640 campioni di suolo
- 32 campioni di acque superficiali fluviali
- 17 campioni di acque sotterranee da sorgenti, pozzi e acquiferi
- 9 campioni di sedimenti
- 60 esemplari vegetali (da cui 102 campioni analizzati)
- 27 esemplari di licheni (50-100 subcampioni per ciascun lichene)

Per tutte queste matrici ambientali sono stati definiti e testati protocolli di campionamento e analisi facendo riferimento a procedure standard citate in letteratura in anni di poco precedenti (1995-1998). La strategia di campionamento è stata definita a seguito di una accurata e approfondita valutazione di tutti gli elementi necessari di carattere geografico, topografico, geologico, scientifico, tecnico e divulgativo, elementi indispensabili anche per la successiva fase di informatizzazione ed elaborazione dei dati geochimico-ambientali ottenuti.

Per quanto riguarda in particolare i suoli, è stato impiegato uno schema di campionamento sistematico a densità variabile di maglie, con celle quadrate con lato da 200 m a 2000 m, schema

ritenuto più adatto ed adattabile alla estrema variabilità geochimica dei luoghi, facilmente implementabile, robusto in termini statistici e più fruibile per le successive fasi di implementazione informatica e cartografica.

La strategia di campionamento e la definizione delle diverse maglie di campionamento per le diverse aree — i) ad intensa attività militare P3, P4, P5, P6, P7  $\alpha$ , N, H ; ii) all'esterno di tali aree; iii) all'esterno dei poligoni — sono indubbiamente il risultato di un compromesso ottimale per studiare una così vasta e differenziata area, rispettando al contempo tutti i vincoli della convenzione, al fine di:

- definire adeguatamente il fondo naturale degli elementi chimici di interesse per l'area di studio, raccogliendo un numero di campioni congruo;
- riuscire a riconoscere eventuali anomalie e ad individuare e circoscrivere la loro estensione,
- riconoscere possibili e particolari sorgenti di immissione antropica o naturale,
- rispettare i tempi concordati nella Convenzione con il Ministero della Difesa.

In particolare, 278 + 57 campioni di suolo raccolti nelle aree ad intensa attività militare (P3, P4, P5, P6, P7 +  $\alpha$ , N, H) si ritengono congrui al fine di pervenire ad una buona caratterizzazione di tali aree, e di giungere alla valutazione di un fondo naturale evidenziando la presenza di eventuali anomalie.

Le procedure di preparazione dei campioni attraverso mineralizzazione con miscele di acidi (HNO<sub>3</sub>, HCl, HF e HClO<sub>4</sub>) e le successive analisi ICP-MS, mutate da metodiche standard, sono ben descritte e circostanziate e risultano applicate in modo corretto. In aggiunta, oltre a controlli di qualità interni con l'impiego di SRM (*Standard Reference Materials*), più della metà dei campioni di suolo sono stati oggetto di controlli di intercalibrazione tra laboratori esperti nazionali ed internazionali. L'analisi ICP-MS applicata ai campioni di suolo mineralizzati ha determinato con efficacia l'eventuale presenza degli elementi pesanti tossici (EPT) oggetto dell'indagine con sensibilità tipiche della tecnica, che nel caso dei suoli risulta dell'ordine dei mg/kg o di loro frazioni.

Per questo punto è necessario fare delle precisazioni, allo scopo di chiarire meglio alcuni dati che illustrano il confronto delle prestazioni analitiche dell'ICP-MS con altra strumentazione meno performante. Questa tecnica è indubbiamente in grado di effettuare una analisi multi-elementare istantanea di gran parte di elementi in traccia e ultra traccia, generalmente su SOLUZIONI del

campione in esame, in modo preciso ed accurato e con limitato consumo di campione. I limiti di detezione (detection limits), genericamente dell'ordine delle ppb (parti per bilione/miliardo = microgrammi per chilogrammo,  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) o frazioni di ppb, possono spingersi fino alle ppt (parti per trilione = nanogrammo per chilogrammo,  $\text{ng}/\text{kg}$ ) nel caso di masse più pesanti e poco interferite, come ad esempio uranio e torio. Tuttavia i limiti sopra riportati (ascrivibili quindi a tracce o ultra-tracce di analita) sono veri ed efficaci solo nella fase di calibrazione dello strumento o in matrici liquide molto diluite dove l'elemento in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  o in  $\text{ng}/\text{kg}$  è contenuto in 1 litro (corrispondente a 1 kg) di acqua praticamente pura.

Nel caso di un suolo, il contenuto deve essere dissolto in soluzione attraverso un processo di mineralizzazione, in cui vengono trattati (cioè mineralizzati mediante mix di acidi particolarmente aggressivi a temperature elevate), tipicamente, fino a 0,5 g di suolo e viene ottenuta una soluzione di volume finale di c.a 50 mL: in pratica il campione in esame subisce una prima diluizione in rapporto 1 a 100. Questa soluzione così concentrata in sali non può essere analizzata direttamente in ICP –MS a causa della contaminazione irreversibile che si introdurrebbe in una apparecchiatura così sensibile. E' pertanto necessaria un'ulteriore diluizione della soluzione di suolo ottenuta prima, portando, ad esempio, 0,5 mL di tale soluzione ad un volume finale di 50 mL (50g) con acqua ultrapura opportunamente acidificata. Considerando i rapporti di diluizione consecutivi, 0,5 a 50 e poi ancora 0,5 a 50, la diluizione complessiva operata sul suolo iniziale è dell'ordine di 1 : 10000.

L'analisi ICP-MS di campioni solidi o di matrici con elevato contenuto di elementi chimici presuppone quindi la messa in atto di procedure che comportano fattori di diluizione che peggiorano di fatto di alcuni ordini di grandezza la sensibilità potenziale della tecnica. Questo aspetto rende quindi conto di come il dato analitico dell'ICP-MS possa passare da valori di 0,01  $\mu\text{g}/\text{kg}$  a 0,1  $\text{mg}/\text{kg}$  a seconda che si stia operando su un campione di acqua molto povera di sali o su un solido o altra matrice come ad esempio un campione di suolo.

A questo punto è più facile comprendere, nel caso si voglia sfruttare la tecnica ICP-MS per determinare il rapporto isotopico (RI) U-235/U-238, come possa diventare critica la determinazione analitica per l'isotopo U-235, dato che il RI naturale è 0,007253, e quindi l'uranio-235 è circa al 7 per mille rispetto all'uranio-238. Inoltre, tale determinazione diventa ancora più critica se l'intento è quello di verificare la presenza in un suolo di uranio depleto (DU) dove l'U-235 scende al 2 per mille rispetto all'U-238. Queste considerazioni portano a concludere che al diminuire del contenuto di uranio nel suolo la determinazione accurata del rapporto isotopico diventa problematica e i risultati, affetti da pesanti errori statistici, in molti casi possono essere fuorvianti. Questo dato di fatto spiega per quale motivo il DSA, per una determinazione diretta dei rapporti isotopici in un

suolo, abbia considerato dapprima i suoli in cui era noto il più elevato contenuto di uranio per poter valutare con maggiore accuratezza se il rapporto isotopico fosse naturale. Anche i risultati ottenuti in precedenza durante l'esperienza in Kosovo confermano che la presenza di uranio depleto fu di fatto dimostrata in quei campioni con maggior contenuto di uranio.

Di fatto, nel caso dell'indagine analitica svolta dal DSA nel PISQ si è subito riscontrata la difficoltà di poter valutare i RI in molti dei campioni di suolo prelevati. In prima istanza il DSA è quindi riuscito ad effettuare la valutazione degli RI in soli 7 campioni. È quindi chiara la opportunità del rilievo del C.T. del Pubblico Ministero che faceva osservare che, quanto dichiarato esplicitamente nella introduzione della relazione del DSA (*“a fronte di un'attività segnatamente volta ad accertare se vi fosse evidenza della presenza di DU”*) non trovava una giustificazione con la presentazione di un numero così limitato di risultati. Anche il CTU al momento non si spiega il motivo di questa premessa introduttiva, tanto più che la convenzione con il Ministero non richiedeva esplicitamente la determinazione del DU.

L'analisi ICP-MS sui suoli prelevati nel corso della presente perizia ha evidenziato l'insorgere di questa problematica che in particolare è stata affrontata nella parte specifica di questa relazione peritale dedicata alla determinazione dei rapporti isotopici, alla quale si rimanda per le opportune considerazioni. In quella parte di relazione peritale, viste le motivazioni sopra esposte in merito alla valutazione analitica dei RI, è stato proposto un metodo inedito per affrontare questa difficoltà analitica, così da riuscire a valutare il fondo di uranio presente nei suoi due isotopi, sfruttando tutti i campioni disponibili e quindi poter meglio evidenziare eventuali contaminazioni da DU. Il quesito chiede in modo specifico *“di verificare la congruità delle analisi svolte anche alla luce dei rilievi critici mossi dal C.T. del Pubblico Ministero, dott. Lodi Rizzini, e avuto riguardo alle previsioni di cui alla convenzione sopra richiamata”*.

A riguardo, un'importante parte dei rilievi si concentrano sul torio. Va premesso che, per questo elemento radioattivo naturale, che come l'uranio appartiene alla stessa serie degli attinidi/attinoidi, la Convenzione tra Ministero della Difesa e DSA-Siena non richiede, a differenza di quanto fatto per l'uranio, la sua esplicita determinazione analitica. In aggiunta, la richiesta di *“eseguire indagini scientifiche con particolare riferimento alla presenza di elementi pesanti tossici (EPT) comprendente i più rilevanti dal punto di vista tossicologico”*, di fatto, sembra ragionevolmente escludere il torio da questo *“ampio spettro di elementi chimici”*. La decisione del DSA di escludere la determinazione del torio nelle matrici, potrebbe quindi trovare giustificazione nei seguenti punti:

- a differenza dell'uranio non viene esplicitamente citato nella convenzione;

- in genere, non è considerato un elemento chimico di particolare interesse dal punto di vista tossicologico, soprattutto se calato in un contesto di ricerche geochimiche di tipo ambientale come quello previsto dalla convenzione;
- la sua determinazione ICP-MS può comportare errori in difetto importanti che non avrebbero consentito il corretto impiego dei dati ottenuti per il torio all'interno delle valutazioni geochimiche-ambientali, valutazioni che costituivano un obiettivo specifico previsto nella convenzione.

Infine, i livelli di torio successivamente riscontrati nell'ambiente, in aree interne al poligono così come in quelle esterne, ancorché sottostimati, non costituiscono pericolo radiologico, così come riportato nella parte di relazione peritale che è stata specificamente prodotta nell'intento di rispondere alle diverse richieste che il quesito pone in tal senso.

## QUESITO

- I -

*Omissis*

- II -

Dica il perito se lo studio geochimico commissionato dal Ministero della Difesa al Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena come da convenzione in data 12 dicembre 2002, sia stato condotto secondo criteri e metodologie conformi a quelle comunemente indicate dalla letteratura e dalla comunità scientifica, verificando altresì la congruità delle analisi svolte, anche alla luce dei rilievi critici svolti sul punto dal C.T. del Pubblico Ministero, dott. Lodi Rizzini e avuto riguardo alle previsioni di cui alla convenzione sopra richiamata.

In caso negativo, dica se la divergenza tra i criteri seguiti e quelli indicati dalla miglior scienza ed esperienza sia tale da evidenziare coscienza e volontà degli imputati di agire allo scopo di ottenere esiti non corrispondenti alla effettiva realtà dei fatti.

Dica inoltre se per le scelte metodologiche adottate o per i risultati ottenuti, l'eventuale inattendibilità della indagine condotta Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena fosse riconoscibile e, in caso affermativo, indichi a quale livello di conoscenza.

Svolga il perito identica valutazione in ordine alla relazione svolta dagli imputati Nobile e Fasciani su incarico di NATO-NAMSA, tenendo conto dei rilievi critici svolti in ordine alla stessa dai c.t. del Pubblico Ministero Lodi Rizzini (perizia 07.02.2012, p. 3791 e ss.) e Farci (*Considerazioni sulla Documentazione SGS* 27 febbraio 2012, p. 4792), nonché dal Dipartimento Specialistico Regionale Geologico dell'ARPAS (*Programma di monitoraggio ambientale del poligono interforze del Salto di Quirra- Rielaborazione dei dati del lotto 3, p.4918 e ss.*) e avuto riguardo alle prescrizioni dettate dal capitolato tecnico del contratto di appalto.

Dica, in particolare, se erano rilevabili anomale quantità di torio nel terreno dagli esiti delle analisi dell'Università di Siena ed anomale quantità di torio ed uranio dagli esiti delle analisi delle matrici animali fatte da SGS.

Il Disciplinare Tecnico riferito al lotto 3, e di interesse per le attività commissionate da NATO-NAMSA a SGS, riguarda il “*campionamento di matrici ambientali e biologiche (suolo, acque naturali superficiali e sotterranee, organismi animali e vegetali) da attuarsi presso il PISQ (poligono a terra e a mare) e al loro successivo controllo chimico da effettuarsi mediante l'applicazione di metodiche analitiche atte a stabilire la qualità e la quantità degli elementi chimici presenti*”.

Il Disciplinare indica le “**Pubblicazioni Applicabili**

- *le normative italiane vigenti in fatto di controlli e tutela dell'ambiente in particolare del suolo e delle acque;*

- *Metodi EPA 8330 o 8095 (nitroaromatici, nitrammine ed esplosivi) e EPA 314, 331, 332 (perclorati);*
- *Pubblicazioni UNEP*”

Al punto **4. Campionamento** precisa che *“il campionamento deve basarsi sui più recenti ed idonei protocolli per il prelievo di matrici ambientali e biologiche al fine di prelevare un numero di campioni congruo e rappresentativo della popolazione di interesse..., in relazione alla tipologia di controllo del territorio e alla sua estensione”*.

Lo stesso Disciplinare precisa di seguito che *“il piano di campionamento deve prevedere inoltre la realizzazione di carotaggi nella zona Area C”*.

Il Capitolato indica la necessità di identificazione del campione con tipologia e quantità, localizzazione delle coordinate chilometriche e/o geografiche, lineamenti morfologici, geologici e idrologici del sito.

Le aree di interesse sono distinte in: *“i) aree ad intensa attività militare; ii) zone non direttamente interessate dall’attività militare”*. Tra le prime sono specificate le aree A (P3), B (P4), C (P5), D (P6), E (P7) per il poligono a terra, e le aree F (Hawk), F (Nike), G (Cannone Davide e CSL) e H (Alfa). Tra parentesi, per comodità, sono riportate le corrispondenti sigle utilizzate in precedenza dal DSA di Siena per le stesse aree.

Per quanto concerne le zone non direttamente interessate dall’attività militare sono indicate:

- *zone del poligono esterne alle precedenti aree;*
- *altre zone “da definirsi in coordinamento con il comitato di indirizzo politico”*.

Per ciò che attiene il campionamento del suolo viene precisato che *“il suolo superficiale (intervallo 0-20cm)... deve essere prelevato secondo uno schema di campionamento di tipo sistematico... su un predeterminato modello geometrico... da griglia... costituita da maglie di forma opportuna con una distanza tra i nodi di dimensioni adeguate...”*.

Per quanto concerne l'analisi, essenzialmente chimica, si precisano i vincoli per le procedure di preparazione ed analisi dei campioni e si puntualizza che *“i metodi analitici devono garantire un limite di rilevabilità minore di 1/10 della quantità massima prevista dalle normative italiane...”*.

Si precisano inoltre gli elementi da determinare: *“Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, Th, Tl, U, W, Zn, Zr, perclorati. In campioni selezionati devono essere determinati i rapporti degli isotopi dell'uranio”*. In aggiunta, nei campioni di origine animale dovrà *“essere determinata l'eventuale presenza di nano-particelle metalliche”* e si richiama che nei campioni *“si devono determinare i prodotti di degradazione degli esplosivi della classe TNT”*.

La presentazione dei risultati avverrà attraverso *“un report dettagliato sulle attività svolte e sulle procedure adottate con i riferimenti legislativi e normativi previsti”*.

Dovranno inoltre essere fornite:

- *le tabelle contenenti i dati analitici riferiti ad ogni singolo campione;*
- *le metodiche analitiche applicate;*
- *il trattamento statistico dei dati analitici, riportando per ogni singolo elemento i principali indici: media, mediana, deviazione standard, percentili, etc;*
- *mappe tematiche che riportano la distribuzione geochimica degli elementi nel suolo.*

Considerando quanto riportato e richiamato da ARPAS nel documento del giugno 2011, pag. 5262 e seguenti (agli Atti), relativamente al Disciplinare Tecnico riferito al lotto 3 al quale SGS doveva attenersi, e sulla base di un confronto generale tra quanto richiesto dal Disciplinare Tecnico/Capitolato e quanto riportato nel Rapporto Tecnico di SGS del 28 gennaio 2011, il CTU precisa quanto segue.

La relazione di SGS nel suo complesso soddisfa quanto richiesto dalle prescrizioni dettate dal Capitolato Tecnico del contratto di appalto, descrivendo in modo adeguato:

- lo svolgimento delle attività di campionamento e i campionamenti eseguiti che risultano conformi a quanto richiesto ed ai criteri riferiti ed adottati;
- l'inquadramento geologico, geomorfologico, pedologico, giacimentologico e climatico dell'area oggetto della caratterizzazione;
- le metodiche analitiche adottate e riferite a standard nazionali ed internazionali comunemente usati nella buona pratica di laboratorio al fine della determinazione degli analiti nelle diverse matrici secondo quanto richiesto nel Discipinare Tecnico;
- i risultati analitici ottenuti per le diverse matrici investigate (circa 700 suoli, 45 sedimenti, 50 acque, 180 animali, 85 vegetali, 30 alimenti) per un totale di circa 1100 campioni e 39500 parametri che sono stati determinati con metodiche standard e strumentazione adatta agli scopi prefissati;
- l'elaborazione statistica dei dati, che è stata effettuata in modo completo secondo criteri prestabiliti e dichiarati e di generale applicazione. Tale elaborazione, non consentendo probabilmente l'impiego di dati (inferiori ai limiti di sensibilità) definiti tramite disequaglianze, ha ingenerato la contestazione rilevata nel merito della presenza di dati numerici di valore identico (in quanto posti pari a  $\frac{1}{2}$  del limite di rivelabilità), e quindi per questo motivo sospettati come falsi. È da osservare che questa prassi nel trattare dati inferiori al Limite di Rivelabilità è comunemente seguita in ambito statistico di trattamento dati ambientali (cfr cartella *Metodi Analitici file Rapporti Istisan 04\_15*);
- la difficoltà palese nel non potersi facilmente riferire ad un valore di fondo per i suoli, data la presenza di numerose litologie sia dentro che fuori i Poligoni. Per questo veniva precisato ed evidenziato nella relazione che ci si riferiva a due fondi: uno preso dalle aree comunali esterne e l'altro in un parco naturale più distante e pertanto privo di influenze da effetti antropici. In aggiunta, veniva sottolineato che Enti di controllo quali ANPA (per i Siti di Interesse nazionale - SIN) e la Provincia di Milano (per i propri numerosi siti contaminati) impiegavano differenti metodologie per il calcolo del fondo;

- la scelta e la opportunità, disponendo di centinaia e centinaia di dati, di adottare un metodo che prevedeva nella fase di elaborazione/interpretazione dei risultati la possibile esclusione degli *outliers*, considerandoli pressoché ininfluenti sull'elevato numero dei dati disponibili;
- che l'elevata variabilità nelle litologie presenti non ha permesso di applicare le linee guida di ANPA nella loro interezza, ma che comunque la struttura di calcolo consentiva di individuare valori di riferimento;
- che, attraverso i numerosi parametri valutati, si potesse in qualche modo individuare la qualità dei possibili fondi nelle diverse matrici e quindi evidenziare possibili apporti di natura antropica;
- che si potevano riconoscere nei suoli alcune associazioni di rilievo tra elementi presenti in modo da valutare se queste si ripetevano in modo inalterato sia dentro le aree ad alta intensità militare che in quelle fuori;
- che si potesse riconoscere la presenza di associazioni naturali di metalli pesanti, compreso l'Uranio, e che il riscontro di tale presenza potesse essere riferito ad una situazione di origine naturale.

La Relazione Finale SGS riporta e non nasconde il modo in cui i parametri chimici risultanti da analisi chimiche condotte su diverse matrici sono stati trattati ed elaborati. Era da attendersi pertanto che un simile lavoro chimico-analitico-strumentale prodotto e supervisionato da esperti in ambito chimico, potesse risentire in modo prevalente di una impostazione e interpretazione monodisciplinare, che a "priori" optasse per un certo modo di esaminare ed elaborare il dato analitico ottenuto. Sono quindi probabilmente da cogliere in tal senso le critiche emerse nelle relazioni prodotte dal Dipartimento Specialistico Regionale Geologico di ARPAS e dal dott. Geologo G. Priamo Farci, consulente tecnico del Pubblico Ministero. A tal proposito, si ritiene utile osservare che, sebbene il quesito riporti in modo specifico che i rilievi del C.T. Farci siano contenuti nel materiale agli Atti datato 27/2/2012 a pag. 4792 e seguenti, e quelli di ARPAS nel materiale a pag. 4918 e ss. del maggio 2011, la seguente parte di Relazione Peritale intende riferirsi

anche al documento del 9/2/2012 del C.T. dr. Farci (che riporta commenti tecnici e stralci integrali della Relazione Arpa Sardegna, e che viene trasmesso in allegato alla presente Relazione) e ad un corposo documento ARPAS del giugno 2011 (pp. 5262-5498), che ricostruisce in modo più compiuto tutta l'attività del Programma di Monitoraggio Ambientale del PISQ, al fine di una più compiuta valutazione. Quest'ultimo documento ARPAS riporta i risultati prodotti e non si limita ai metodi adottati per le rielaborazioni dei dati del lotto 3, che sono invece riportati in dettaglio nel documento ARPAS del maggio 2011.

Considerando il documento ARPAS del giugno 2011 di c.a 130 pagine più allegati, nella parte iniziale alla pag. 5269 degli Atti si precisa *“stante che l'obiettivo dell'intero programma di monitoraggio consiste nel produrre elementi per valutare l'influenza ambientale delle attività svolte dal PISQ nell'intera area in esame, indicazioni generiche sul trattamento dei risultati analitici quali produzione di elaborazioni statistiche elementari (medie, deviazioni standard, etc) non si ritengono sufficienti a fornire elementi oggettivi per valutazioni approfondite degli effetti ambientali di attività, che, come più volte sottolineato, si svolgono in un contesto territorialmente molto vasto e soprattutto le cui caratteristiche geologiche sono estremamente variabili, rendendo impossibile un trattamento dei risultati analitici che prescindere da tale complessità. Si ricorda ancora che le aree di interesse, in virtù di tali caratteristiche geologiche, sono state interessate in passato da numerose attività antropiche di tipo minerario (sia di tipo estrattivo che di prospezione e ricerca) che hanno spesso condizionato in modo rilevante lo stato dell'ambiente circostante e che pertanto l'attività del PISQ spesso si sovrappone ad essa rendendo ulteriormente complessa l'interpretazione dei dati ambientali”*.

Questa proposta del Comitato di indirizzo, emersa dalla Riunione del 17/06/2010 – Indicazioni trattamento dati analitici del Lotto 3, ha di fatto espresso le linee guida secondo le quali ARPAS ha poi prodotto *“lo specifico documento nel quale sono riportate in dettaglio le elaborazioni*

*statistiche ritenute necessarie al fine di poter ottenere informazioni utili all'interpretazione dei risultati analitici stessi*" (documento di ARPAS del maggio 2011 citato nel quesito).

Quanto fin qui riportato chiarisce la motivazione dei rilievi critici fatti ad SGS sulla elaborazione statistica dei dati, condotta in modo ritenuto non sufficientemente adeguato poiché non veniva considerata in modo più appropriato la valutazione che tenesse conto delle 20 diverse litologie presenti nel territorio. SGS di fatto non aveva nascosto nella propria relazione la difficoltà ed i propri limiti operativi nel non potersi riferire ad un valore di fondo assoluto e opportuno per i luoghi oggetto dell'indagine analitica. Conseguentemente ha scelto di considerare due riferimenti, un fondo esterno al poligono e riferibile a quello presente nei Comuni limitrofi e l'altro molto distante in una zona priva di effetti dovuti ad attività antropiche (l'area di Baunei). ARPAS al contrario, potendo contare su una più specifica competenza specialistica (territoriale, geografica, geolitologica e geochimica), ha prodotto una elaborazione statistica più completa, rielaborando i dati grezzi ottenuti da SGS e stimando dei valori di fondo (BTV) che dovrebbero meglio tener conto delle diverse litologie nei diversi luoghi. In questo modo ha proceduto a confrontare i dati grezzi con i BTV ottenuti, inserendoli in carte tematiche organizzate per parametro analitico (metallo, uranio, torio, percolati, residui da esplosivi, etc.) e riuscendo a fornire una mappatura della distribuzione di questi potenziali contaminanti nelle diverse aree interne al Poligono (ad alta attività militare e non). Questa mappatura è stata effettuata anche per le aree esterne, vicine e lontane, per ciascun punto di campionamento esattamente georeferenziato, e le mappature confrontano il valore del parametro ottenuto da SGS con: i) il valore del parametro dovuto al fondo "litologico" trovato – BTV, ii) il valore del parametro stesso riportato nella Tab. 1 colonna A del D. Lgs. 152/06 e iii) il valore del parametro stesso riportato nella Tab. 1 colonna B. Le mappature evidenziano i punti campione con colori vari per facilitare il confronto dei dati con i diversi limiti di riferimento. Il contributo di ARPAS sulle attività condotte da SGS relative al lotto 3 é dettagliatamente riportato nel documento del giugno 2011 nei punti 2.3 – Attività lotto 3 (pag. 5272-5280), 4.4 – Osservazioni

sulle attività del lotto 3 (pag. 5292-5299), 5 – Considerazioni sullo stato dell'ambiente limitatamente ai suoli (pag. 5299-5344) e nel punto 6 - Conclusioni (sui suoli) pag. 5488-5490.

L'attività del Programma di Monitoraggio Ambientale del Poligono Interforze del Salto di Quirra di ARPAS, rielaborando i dati grezzi delle ditte che hanno portato a termine i vari lotti, *“ha iniziato a definire il quadro dello stato dell'ambiente ... allo scopo di definire se dai risultati delle attività di monitoraggio sia possibile evincere se le attività che si svolgono all'interno del Poligono abbiano o meno un impatto sull'ambiente”*.

*“E' evidente infatti che le conclusioni delle attività delle tre ditte (lotti 1, 2 e 3) secondo le quali per l'appunto le attività del Poligono non abbiano alcun impatto rilevante sull'ambiente circostante possono essere messe in discussione nel momento in cui vengono evidenziate diverse criticità o differenti interpretazioni dei dati analitici derivanti dalle indagini svolte finora.”*

Tali rilievi critici, come riportato nel quesito, riguardano per il procedimento in corso, il lotto 3 e le attività di SGS.

In particolare l'Agenzia non concorda con SGS né nell'eliminazione degli outliers, né nella trattazione statistica, né nel considerare l'area di Baunei come rappresentativa di un valore di fondo naturale utile per il confronto.

Per tali motivi l'Agenzia, rilevando che il trattamento dei dati non è stato eseguito secondo le proprie indicazioni, ha proceduto a numerosi approfondimenti, che riporta nei documenti del maggio e giugno 2011 e che in modo prevalente riguardano una rielaborazione massiccia dei dati riferiti ai suoli ottenuta con i dati grezzi di SGS elaborati secondo criteri diversi e più adeguati alla situazione dei suoli.

Nelle conclusioni ARPAS riporta: *“per quanto attiene alle elaborazioni dei dati chimici su campioni di suolo superficiale prelevati alle profondità di 5 – 10 cm, e pertanto particolarmente sensibili a eventuali ricadute sul suolo, è stato messo in evidenza che molti degli elementi*

*inorganici ricercati (presenti diffusamente in tutte le aree) e alcuni organici si concentrano non solo all'interno delle aree ad alta intensità dei poligoni ma anche nelle aree esterne e in quelle civili".*

Tale affermazione (“*si concentrano non solo ... ma anche nelle aree esterne e in quelle civili.*”), dato che lascia intendere che gli elementi inorganici e alcuni organici presenti nel Poligono vengono a trovarsi in modo diffuso anche fuori, sembrerebbe attribuire al Poligono il ruolo di sorgente di questi contaminanti. L’Agenzia infatti sottolinea quindi la presenza di “anomalie” nei valori ottenuti da SGS, osservando che un numero significativo di questi valori si trova al di sopra di un valore di fondo BTV, o addirittura al di sopra dei valori delle CSC del D. Lgs 152/06 (in prevalenza quelli della Tab. 1, All. 5, colonna A – siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale). Tuttavia nonostante questo, ARPAS conclude a pag. 5490 quanto segue: “*Sulla base di questi dati attualmente non è possibile individuare con certezza un legame tra lo stato dei luoghi e le attività militari che vi si svolgono (di cui sono noti solo alcuni aspetti in termini di potenziali sorgenti di contaminazione dell’ambiente).*...

*... È inoltre evidente ... che i rilevamenti dei metalli nelle polveri indicano che le attività che si svolgono nel poligono determinano dispersione che potrebbe interessare anche i centri abitati vicini e che tale tipologia di esposizione deve essere tenuta in conto per le eventuali successive valutazioni del rischio da esse derivanti”.*

La conclusione di ARPAS, basata sulla rielaborazione dei dati grezzi forniti da SGS, non riesce di fatto a dimostrare in modo certo che vi siano correlazioni tra le attività svolte dentro al Poligono e la situazione riscontrata nei luoghi esterni all’area demaniale. Ciò sembra sia dovuto ad una serie di fattori e problematiche non facilmente quantificabili neanche in modo relativo, quali:

- la presenza di una situazione geochimica particolare estesa in tutta l’area;
- la presenza di massicce attività minerarie fortemente impattanti sui luoghi, protrattesi a lungo in quelle aree e in tutta la Sardegna fin dall’epoca romana;

- l'intenso utilizzo di aree mineralizzate come la zona C (P5-Zona Torri) dove sono avvenuti esperimenti o attività fortemente impattanti sul suolo;

La conclusione è quindi che al momento non è possibile individuare per certo il punto o i punti sorgente di natura antropica responsabili di quanto viene riscontrato nelle aree intorno al PISQ.

Le conclusioni tratte da ARPAS, pur considerando il potenziale effetto verso l'esterno di certe attività condotte all'interno del Poligono nei confronti della dispersione in aria di contaminanti essenzialmente contenuti nei suoli e nelle rocce presenti nelle aree interne del Poligono, mostrano quanto sia difficile poter trovare con certezza un legame tra lo stato dei luoghi e le attività militari. Pertanto secondo questa Relazione Peritale, nonostante l'enorme e importante lavoro di rielaborazione dei dati secondo il criterio geo-litologico, viene ancora una volta messa in luce la difficoltà di stabilire un valore di fondo assolutamente certo al quale potersi riferire. Ciò, di fatto, limita enormemente la possibilità di poter discernere senza alcuna ombra di dubbio se vi sia, e quale e quanto sia, il contributo delle attività militari alla presenza di agenti contaminanti che vengano a trovarsi anche nelle aree esterne, e quindi la possibilità di valutare tale contributo antropico in termini di esposizione a questi contaminanti.

La difficoltà di potersi riferire ad un unico valore di fondo, chiaramente esposta dai chimici di SGS, trova giustificazione anche nei seguenti aspetti:

- il contenuto delle rocce che spesso risulta elevato in metalli pesanti e tossici nell'area e in tutta l'isola, come si può vedere dalle carte geochimiche e dal fatto che alcuni BTV, elaborati da Arpas, si trovino già sopra le CSC della 152;
- i fenomeni erosivi, di trasporto e di sedimentazione che hanno avuto luogo per milioni di anni sia per *heap leaching* nei siti minerari a cielo aperto, che sulle varie mineralizzazioni presenti nell'area o anche distanti dall'area stessa.

Tutto ciò sicuramente ha contribuito a complicare la valutazione del fondo presente dentro e fuori il Poligono, al punto da rendere difficile stabilire il legame tra lo stato delle diverse aree e l'intenso

utilizzo di aree fortemente mineralizzate presenti nel Poligono (come ad esempio la P5) per ripetute attività esplosive.

Questa complicazione trova ancora maggiore evidenza se si analizzano nel dettaglio i risultati della campagna analitica di SGS considerando il riferimento ai luoghi di ciascun campione esaminato. Nel documento di ARPAS (Bozza di Giugno 2011) alla pag. 42 (corrispondente alla pag. 5303 del Faldone), al punto **5.1.3 Superamenti dei limiti di legge 152/06**, è riportata sul fondo la seguente tabella che mostra il quadro generale degli elementi che presentano superamenti nelle varie aree.

La tabella seguente mostra il quadro generale degli elementi che presentano superamenti nelle varie aree permettendo un confronto tra di esse; gli elementi in grassetto presentano superamenti per le aree industriali.

|                                   |           |           |    |    |           |    |    |           |    |    |
|-----------------------------------|-----------|-----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| <b>poligono Perdasdefogu</b>      | <b>As</b> | Cd        | Co | Cr | Cu        |    | Pb | <b>Sb</b> | Zn | Tl |
| <b>area esterna Perdasdefogu</b>  | <b>As</b> | <b>Cd</b> | Co |    | <b>Cu</b> |    | Pb | <b>Sb</b> | Zn | Tl |
| <b>poligono C. S. Lorenzo</b>     | <b>As</b> | Cd        |    |    |           |    |    |           | Zn | Tl |
| <b>area esterna C. S. Lorenzo</b> | <b>As</b> | Cd        |    |    |           |    |    |           | Zn | Tl |
| <b>civili</b>                     | <b>As</b> | Cd        | Co | Cr | Cu        | Ni | Pb | Sb        | Zn | Tl |
| <b>sondaggi</b>                   | <b>As</b> | Cd        |    |    | <b>Cu</b> | Ni | Pb |           | Zn | Tl |

**Elementi che presentano superamenti dei valori della tab. A e della tab. B (in grassetto) del DLgs 152/06 nelle varie località.**

Da questa tabella si evince che l'Arsenico (As, che in tabella è mostrato in grassetto) supera il valore di CSC per i suoli industriali in tutte le aree (Poligoni a terra e a mare, area esterna di Perdasdefogu, area esterna di Capo San Lorenzo, aree civili, sondaggi in P5). Quando lo stesso elemento si presenta e persiste in più siti, anche molto distanti tra loro e con valori costantemente sopra i limiti più elevati di CSC, in un modo così diffuso, i casi sono : i) o il punto sorgente è il PISQ con le sue attività antropiche e si giustifica e dimostra il poderoso fenomeno di trasporto del contaminante in tutte le aree circostanti, o ii) la diffusa contaminazione proviene da altre attività antropiche fortemente impattanti (nel caso dell'area del PISQ, ad esempio, quelle della miniera di arsenico e antimonio di Baccu Locci e molte altre aree di interesse minerario citate nei documenti

agli Atti) o iii) l'elemento è presente in tutta l'area in modo naturale. Questa situazione è verificata in modo meno esteso anche per l'antimonio (Sb).

L'ipotesi che questi elementi siano presenti in tutta l'area in modo naturale trova supporto in questa ulteriore considerazione sulla situazione relativa al cadmio (Cd) e al rame (Cu). Mentre arsenico e antimonio sono presenti in tabella con valori superiori alla CSC della colonna B della 152/06 sia internamente che esternamente al Poligono di Perdasdefogu, per il cadmio e il rame la situazione è diversa. Rame e cadmio presentano valori più elevati nelle aree esterne di Perdasdefogu che non in quelle interne al Poligono di terra. Ciò non si può che spiegare con una presenza naturale di questi elementi nei campioni di suolo raccolti nelle aree esterne di Perdasdefogu e quindi anche nelle altre aree. Una tesi contraria dovrebbe ammettere che vi siano state attività antropiche nell'area esterna di Perdasdefogu che abbiano causato la contaminazione del Poligono!

In generale, nell'ambito di studi di contaminazione ambientale che abbiano come obiettivo quello di valutare possibili cause dovute ad attività antropiche, una particolare attenzione deve essere mostrata nei confronti della presenza dei cosiddetti “cluster di contaminanti”. Questi “gruppi/grappoli” di elementi chimici che si presentano sempre insieme, con valori confrontabili e in modo diffuso in un territorio così vasto come quello del PISQ e aree circostanti, porta inevitabilmente al sospetto che all'origine vi sia una causa naturale piuttosto che una causa dovuta all'attività antropica di tipo militare.

Le stesse considerazioni possono quindi essere estese anche agli altri elementi riportati in tabella. Queste considerazioni, anche se non espressamente indicate nel documento di ARPAS, potrebbero avere indotto anche l'Agenzia ad esprimersi con estrema cautela nell'attribuire alle attività, o meglio solo alle attività del Poligono, la causa della presenza di elementi chimici all'esterno e in quantità a volte superiori ai valori più elevati di CSC della 152/06.

In aggiunta, si consideri nel documento ARPAS ciascuna delle diverse Tavole denominate “*Carta dei superamenti di ...*” riportate per singolo elemento (da pag. 5312 a pag. 5321) e la Tavola

denominata “*Carta dei superamenti per tutti gli elementi secondo D.Lgs. 152/06*” riportata a pag. 5324.

È importante osservare, soprattutto analizzando una per una le tavole relative al singolo elemento, che, in generale, non si riscontra affatto che la contaminazione presente nelle aree esterne ai due Poligoni mostri in qualche modo una evidente correlazione con la presenza dei venti dominanti in quelle zone. Ciò a dire che la “contaminazione esterna” appare distribuita in modo pressoché isotropo intorno a tutto il Poligono. Ciò costituisce un ulteriore fatto che in qualche modo avvalorava la presenza di un fondo naturale caratterizzato da un contenuto significativo di alcuni elementi chimici inquinanti in tutta l’area, e che spesso questo fondo naturale possa anche superare le CSC più elevate riportate nel D.Lgs. 152/06.

Tutte queste considerazioni, a partire da quelle fatte da ARPAS nei documenti fino ad ora prodotti e come anche affermato dalla stessa Agenzia, fanno propendere per l’assenza di un collegamento evidente tra le attività svolte all’interno dei Poligoni e la presenza di elementi all’esterno con valori superiori alle CSC previste dal D.Lgs. 152/06. Pertanto, la presente Relazione Peritale, nel merito della parte di quesito che domanda “*se per effetto delle attività militari svolte attualmente o in passato all’interno del poligono si sia determinato un danno all’ambiente avente potenza espansiva e attitudine ad esporre a pericolo collettivamente un numero indeterminato di persone anche all’esterno del poligono medesimo*” esprime parere negativo precisando che, fortunatamente, non vi sono evidenze che possano far pensare alla situazione di disastro ambientale. Inoltre, è possibile puntualizzare che la situazione interna ai poligoni, anche nelle aree a più intensa attività militare, così come e a maggior ragione in quelle esterne, non è paragonabile a quella esistente in siti contaminati riconosciuti nel Paese come siti di interesse nazionale - SIN – quali ad esempio i SIN di Porto Torres (SS), Gela (CT), Porto Marghera (VE), etc..

La presente Relazione Peritale, ancora una volta, così come ribadito nella parte relativa alla valutazione del rischio radiologico da uranio e torio e come anche riportato nelle conclusioni di

ARPAS a pag. 5488-5490, non ritiene di escludere che le attività che si sono svolte nel PISQ possano aver prodotto nubi concentrate di polveri con elevato contenuto di elementi chimici pericolosi per la salute finemente dispersi in particolato sottile. L'esame dello stato dei luoghi effettuato attraverso indagini analitiche anche molto raffinate su numerosi campioni di varie matrici raccolte è comunque condotto e riferibile ad una situazione statica, "a riposo". Completamente diversa può presentarsi la situazione conseguente le attività militari fortemente impattanti sul suolo. In questo caso non si può escludere che la grande quantità di polveri sospese contenenti particelle contaminanti, congiuntamente alla presenza di particolari situazioni meteorologiche, abbiano potuto esporre a rischi di contaminazione acuta, oltre al personale in servizio nel Poligono nelle aree vicine o sottovento e privo di idonei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI), anche la popolazione delle aree circostanti, in special modo quelle dei comuni privi di barriere fisiche naturali a loro protezione.

A conclusione delle considerazioni espresse sull'importante attività svolta da ARPAS e descritta nel Programma di Monitoraggio Ambientale del PISQ nella bozza di giugno 2011, anche per offrire spunti di riflessione e con l'intento di rendere ancor più efficaci le future attività dell'Agenzia, si ritiene utile riportare le seguenti osservazioni.

Nel punto **3. VALIDAZIONE ANALITICA** a pag. 5273, ARPAS presenta una serie di dati analitici derivanti dal confronto della diversa metodica impiegata dai laboratori ARPAS rispetto a quella utilizzata da SGS. Pur non essendo stato impiegato per il confronto un materiale standard certificato e di riferimento (Standard Reference Materials), e quindi non potendo giungere a valutazioni più precise e certe sul confronto dei risultati ottenuti dai due laboratori, risulta opportuno considerare quanto segue. In prima istanza il metodo standard utilizzato da ARPAS e da SGS per l'analisi di uno stesso campione di suolo non è lo stesso. ARPAS impiega per l'analisi dei suoli il metodo EPA 3051A (con miscela bi-acida di acido nitrico e cloridrico), mentre SGS impiega il metodo EPA 3052 (con miscela tri-acida con acido nitrico - acido cloridrico - acido

fluoridrico). L'aggressività molto più accentuata della miscela acida in EPA 3052 lascia subito intuire che i metodi SGS sovrastimano, e di molto, il contenuto dei suoli rispetto ad ARPAS con scarti percentuali che variano da +15÷30 % a +40÷50 %, fino a +200÷1000 % (si veda a tal proposito la tabella riferita al campione di suolo esaminato a pag. 5274 e qui riportata).

| Parametro | Media di Valore SGS | Dev. standard di Valore SGS | Media di Valore ARPAS | Dev. standard di Valore ARPAS | Media di scarto SGS/ARPAS (%) | Coefficiente di correlazione R <sup>2</sup> |
|-----------|---------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| Alluminio | 17114,8             | 7336,3                      | 13526,5               | 8073,9                        | 73%                           | <b>0.11</b>                                 |
| Antimonio | 4,4                 | 10,0                        | 0,4                   | 0,3                           |                               |   |
| Arsenico  | 22,8                | 33,4                        | 20,2                  | 30,6                          | 28%                           | 0.95  |
| Bario     | 200,1               | 94,5                        | 93,4                  | 54,1                          | 200%                          | <b>0.13</b>                                 |
| Cadmio    | 1,4                 | 3,0                         | 2,4                   | 2,2                           |                               |   |
| Cobalto   | 7,5                 | 6,8                         | 5,4                   | 4,9                           | 47%                           | 0.88  |
| Cromo     | 38,7                | 31,3                        | 15,2                  | 14,1                          | 195%                          | 0.82  |
| Ferro     | 20831,8             | 15807,7                     | 16832,1               | 13723,0                       | 29%                           | 0.85  |
| Nichel    | 16,6                | 10,4                        | 12,1                  | 8,7                           | 59%                           | <b>0.62</b>                                 |
| Piombo    | 40,2                | 50,7                        | 35,7                  | 45,7                          | 20%                           | 0.99  |
| Rame      | 20,8                | 23,7                        | 19,0                  | 19,0                          | 13%                           | 0.85  |
| Zinco     | 73,8                | 61,2                        | 60,4                  | 48,8                          | 18%                           | 0.82  |

Per quanto riguarda la determinazione di Antimonio e Cadmio i valori di concentrazione misurati dal laboratorio ARPAS sono quasi sempre al di sotto del limite di rilevazione strumentale e pertanto la media degli scarti, così come il coefficiente di correlazione, non sono valutabili.

La motivazione, come precisa ARPAS, è da attribuire al fatto che la EPA 3052 usata da SGS produce una maggior dissoluzione del suolo in esame ed *“è più adatta ad applicazioni di ricerca in ambito geologico/geochimico ed è ritenuta dalla stessa EPA appropriata solo per i mandati normativi che richiedono esplicitamente la totale decomposizione della matrice. Di conseguenza essa non è utilizzata usualmente nell'ambito delle attività di caratterizzazione dei siti contaminati secondo la normativa vigente in Italia (D.Lgs. 152/06 e s.m.i.) per la quale è generalmente scelta la metodica EPA 3051A in uso presso i laboratori ARPAS”* (e si aggiunge, anche presso altre Agenzie Regionali di Protezione dell'Ambiente che devono procedere a valutazioni di contaminazione ambientale). Le considerazioni di ARPAS continuano (a pag. 5277) ribadendo che la EPA3052 non permette di distinguere nella matrice il contributo dei contaminanti eventualmente dispersi (da

attività antropica) da quanto è parte integrante della matrice stessa (di origine geologica/geochimica naturale). “Ciò conduce quindi ad una interpretazione non corretta dei risultati analitici qualora lo scopo delle analisi fosse quello di determinare, come nell’attività in esame, l’eventuale contaminazione dispersa nei suoli”. Si deve pertanto concludere, come di fatto fa ARPAS, che la metodica EPA 3052 usata da SGS porta a sovrastimare, e nel caso presentato anche di molto, il contenuto dei contaminanti presenti nel suolo rispetto all’obiettivo di stabilire la presenza di contaminanti di tipo antropico. In particolare, se si considerano i contaminanti che ARPAS ha individuato e i cui valori risultanti dalle analisi SGS superano i limiti di CSC del D.Lgs. 152/06, è da osservare che le conclusioni a cui giunge l’Agenzia per quanto riguarda cromo (Cr), antimonio (Sb) e tallio (Tl) sono fondate su numeri che potrebbero essere sovrastimati anche del doppio.

È da osservare peraltro che i valori di fondo BTV, anche se desunti da ARPAS per ciascun elemento sulla base dei dati analitici di SGS, possono essere correttamente impiegati per un confronto diretto “interno” (valore SGS di un dato elemento in un campione contro il valore di fondo BTV ottenuto per lo stesso elemento), dato che entrambi provengono da una metodica analitica che tende a sovrastimare l’uno e anche l’altro allo stesso modo. Quando però il valore SGS di un dato elemento viene individuato da ARPAS al di sopra della CSC (concentrazioni che sono fissate in modo assoluto dal D.Lgs. 152/06 e stabilite sulla base di riferimenti a valori medi presenti nei suoli europei, non sardi!) si possono trarre considerazioni fuorvianti. In questo caso si deve aver ben presente che il vasto set di dati sui contaminanti ottenuto da SGS è pieno di valori sovrastimati per certi elementi rispetto all’ipotetico set che avrebbe ottenuto ARPAS qualora avesse condotto la medesima campagna analitica (e ciò in considerazione del diverso metodo di analisi dei suoli, EPA 3052 vs. EPA 3051A). Per tali motivazioni, per molti dei valori che superano il limite CSC tale superamento potrebbe non essere sempre verificato qualora fosse adottata una diversa strategia di analisi.

In aggiunta, ad una attenta lettura del corposo D.Lgs. 152/06 si trova:

comma 5 bis dell'art. 184 del D.Lgs. 152/06:

*I sistemi d'arma, i mezzi, i materiali e le infrastrutture direttamente destinati alla difesa militare ed alla sicurezza nazionale individuati con decreto del Ministro della difesa, nonché la gestione dei materiali e dei rifiuti e la bonifica dei siti ove vengono immagazzinati i citati materiali, sono disciplinati dalla parte quarta del presente decreto con procedure speciali da definirsi con decreto del Ministro della difesa, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare ed il Ministro della salute, da adottarsi entro il 31 dicembre 2008.*

*I magazzini, i depositi e i siti di stoccaggio nei quali vengono custoditi i medesimi materiali e rifiuti sono soggetti alle autorizzazioni ed ai nulla osta previsti dal medesimo decreto interministeriale.*

*Con lo stesso decreto interministeriale sono determinati i criteri di individuazione delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui all'allegato 5 alla parte quarta del Presente decreto, applicabili ai siti appartenenti al Demanio Militare e alle aree ad uso esclusivo alle Forze Armate, tenuto conto delle attività effettivamente condotte nei siti stessi o nelle diverse porzioni di essi*

Il contenuto del precedente comma sembra lasciar intendere che, qualora si vogliano effettuare valutazioni di contaminazione ambientale, le CSC, riportate nel D.Lgs. 152/06 e fin qui da tutti considerate, non siano poi così direttamente e immediatamente applicabili alle zone interne alle aree demaniali del PISQ. A tal riguardo altri due Decreti successivi al 152/06, il DM 06/03/2008 ed in particolare il DM 22/10/2009, sono ora applicabili.

Le considerazioni legate all'interpretazione, all'applicazione e all'efficacia dei contenuti normativi di cui ai Decreti citati esulano dall'ambito di competenza di questa perizia e come tali, se pur offerte come spunto di possibili diverse valutazioni in sede giudiziale, non verranno sviluppate in questa Relazione.

Al contrario, questa Relazione Peritale intende porre attenzione e soffermarsi su alcuni aspetti che le varie attività condotte, i diversi ambiti di competenza implicati, le varie Ditte, i diversi Enti e le diversificate professionalità coinvolte hanno direttamente o indirettamente messo in risalto. In particolare, la numerosa documentazione tecnica e legale prodotta e depositata agli Atti di questo Procedimento rende conto di quanto sia complessa la situazione in esame sotto i molteplici aspetti

tecnici, sanitari, scientifici e di conseguenza legali. La stessa ARPAS, nell'importante documento prodotto "Programma di Monitoraggio Ambientale del PISQ", conclude sulla necessità di ulteriori approfondimenti al fine di comprendere in modo completo ed esaustivo la effettiva situazione dei luoghi e lo stato dell'ambiente. In aggiunta, l'Amministrazione Difesa, con l'istituzione del Team di Valutazione Tecnica – TET – Technical Evaluation Team, ha espresso la volontà di procedere nelle attività di caratterizzazione di varie aree interne al PISQ.

Per concludere, considerata la complessa situazione dei luoghi sotto diversi punti di vista, quali i) la geochimica, la geologia e la geografia del territorio, ii) la vasta estensione dell'area oggetto di indagine e iii) le attività antropiche passate e quelle più recenti, protrattesi anch'esse per decine di anni, e potendo disporre di numerosi campioni di matrice ambientale raccolti dal 2002 fino ad oggi, è indispensabile non commettere l'errore di procedere a compartimenti stagni, come si è fatto finora nelle attività di indagine. La situazione richiede che siano coinvolte fin da subito molteplici competenze tecnico-scientifico-sanitarie che in modo sinergico e coordinato affrontino le problematiche evidenziate. Dovranno pertanto essere coinvolte più figure professionali che insieme riescano a coprire tutti gli ambiti necessari e diano ampie garanzie per affrontare problematiche di tipo diverso (chimico, ambientale, biologico, geochimico e geologico, veterinario, sanitario, tossicologico e anche ingegneristico-ambientale). Solo in questo modo sarà possibile valutare in modo più accurato l'impatto delle attività militari sull'ambiente e la salute.

Milano, 3 giugno 2014

F.to

Prof. Mario Mariani

