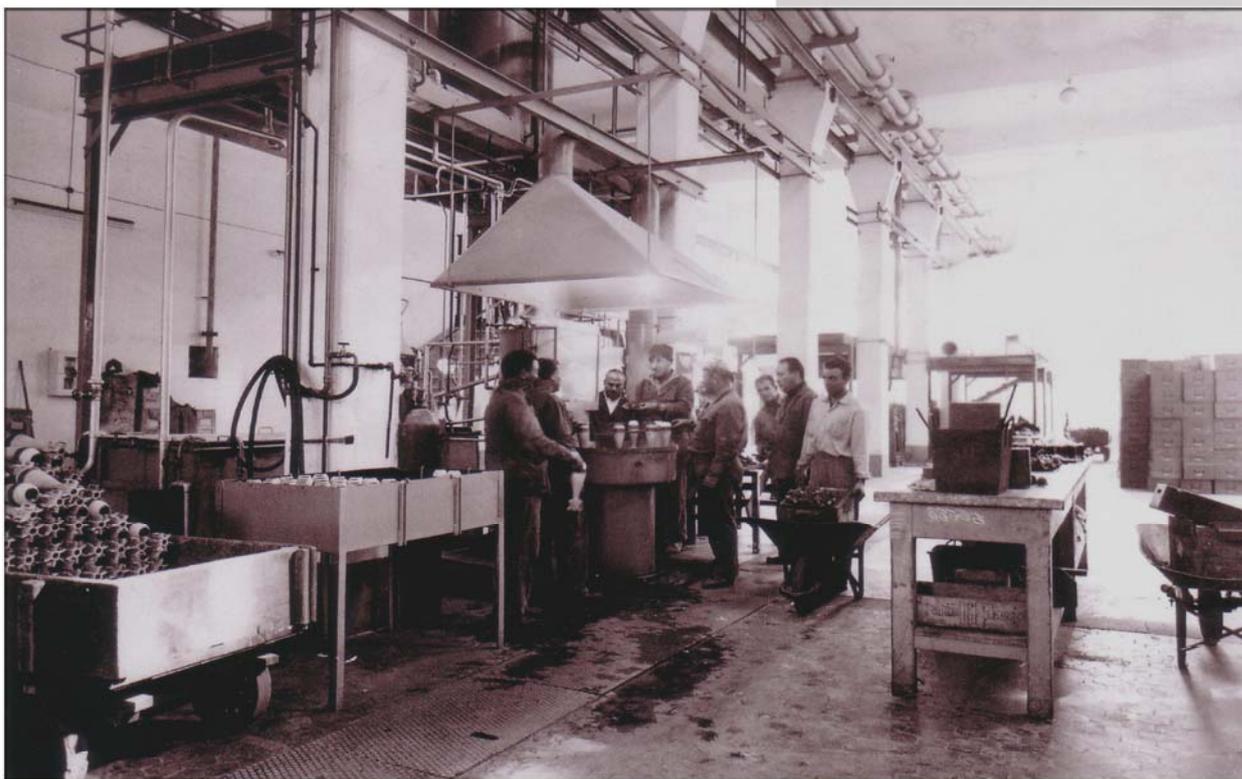




Centro Logistico Interforze NBC

**Piano della Caratterizzazione “Ex Magazzino Materiali difesa NBC”
Comune di Ronciglione (VT)
(ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i)**



Rev 00

Agosto 2011

APPROVATO DAL COMANDO LOGISTICO DELL'ESERCITO DIPARTIMENTO TECNICO IL 19.10.2011

Responsabile Scientifico

Ing. Rossana Cintoli

Gruppo di Lavoro

Dott. Giampaolo Brinchi

Dott. Mauro Castaldo

Ing. Antonio di Gennaro

Ing. Simone Dionisi

Dott. Stefano Muzzi

Dott. Giorgio Onofri

SOMMARIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA | 4 |
| 1.1 | SINTESI DELL'ITER PROCEDURALE | 4 |
| 1.2 | RIFERIMENTI TECNICO-NORMATIVI | 4 |
| 2 | INQUADRAMENTO GENERALE | 6 |
| 2.1 | LOCALIZZAZIONE DEL SITO | 6 |
| 2.2 | INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E IDROLOGICO | 7 |
| 2.3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO | 8 |
| 3 | RACCOLTA E SISTEMATIZZAZIONE DEI DATI ESISTENTI | 16 |
| 3.1 | ASSETTO MORFOLOGICO DI DETTAGLIO | 16 |
| 3.2 | ASSETTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO | 18 |
| 3.3 | DESCRIZIONE DELLO STABILIMENTO E DEL CICLO PRODUTTIVO | 21 |
| 3.3.1 | Cenni storici | 21 |
| 3.3.2 | Stato attuale delle strutture | 22 |
| 3.3.3 | Sistema di regimentazione delle acque | 27 |
| 3.3.4 | Interpretazione di aerofoto storiche | 29 |
| 3.3.5 | Ciclo produttivo e stoccaggio materiali | 36 |
| 3.4 | ATTIVITÀ DI BONIFICA BELLICA EFFETTUATE TRA IL 1995 E IL 1996 | 40 |
| 3.5 | INDAGINI EFFETTUATE SUL SITO NEL 2009 | 44 |
| 3.5.1 | Indagini indirette | 44 |
| 3.5.2 | Indagini dirette | 45 |
| 3.6 | DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA E VINCOLISTICA | 49 |
| 4 | MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE | 51 |
| 4.1 | POTENZIALI SORGENTI DELLA CONTAMINAZIONE | 51 |
| 4.2 | DEFINIZIONE E CARATTERISTICHE DEI POTENZIALI COCS | 54 |
| 4.2.1 | Acido clorosolfonico | 57 |
| 4.2.2 | Esacloroetano | 58 |
| 4.2.3 | Tetracloruro di carbonio | 60 |
| 4.2.4 | Anidride arseniosa | 62 |
| 4.2.5 | Arseniato di calcio | 63 |
| 4.2.6 | Tricloruro di arsenico | 64 |
| 4.2.7 | Iprite | 65 |
| 4.2.8 | Fosgene | 69 |
| 4.2.9 | Difenilamminocloroarsina | 71 |
| 4.2.10 | Difenilcloroarsina | 72 |
| 4.2.11 | Fenildicloroarsina | 73 |
| 4.2.12 | Lewisite | 74 |
| 4.3 | POTENZIALI PERCORSI DI MIGRAZIONE E BERSAGLI | 76 |
| 4.4 | CONSIDERAZIONI SUI VALORI DI FONDO NATURALE | 76 |
| 5 | PIANO D'INDAGINE | 77 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.1 | ATTIVITÀ PRELIMINARI | 78 |
| 5.2 | CARATTERIZZAZIONE DELLA MATRICE TERRENO | 79 |
| 5.2.1 | Sondaggi geognostici | 79 |
| 5.2.2 | Fondi e pareti da scavi per la rimozione delle anomalie interrato | 79 |
| 5.2.3 | Metodologia di campionamento | 81 |
| 5.2.4 | Decontaminazione delle attrezzature per il prelievo | 83 |
| 5.2.5 | Analisi di laboratorio – Set e metodiche..... | 83 |
| 5.3 | CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE..... | 86 |
| 5.3.1 | Realizzazione dei piezometri | 86 |
| 5.3.2 | Rilievo piezometrico | 87 |
| 5.3.3 | Metodologia di campionamento | 87 |
| 5.3.4 | Analisi di laboratorio – Set e metodiche..... | 88 |
| 5.4 | MODALITÀ DI GESTIONE E CONSERVAZIONE DEI CAMPIONI | 90 |
| 6 | BIBLIOGRAFIA | 91 |

ELENCO DEGLI ALLEGATI

Tavola 1: Principali strutture morfologiche

Tavola 2: Strutture e sottoservizi

Tavola 3: Sintesi delle indagini preliminari

Tavola 4: Ubicazione dei punti d'indagine

Tavola 5: Ubicazione campionamenti di fondo scavo

1 PREMESSA

1.1 Sintesi dell'iter procedurale

Nel marzo 2010 il Centro Tecnico Logistico Interforze N.B.C. ha acquisito i risultati di una campagna di indagini indirette (geofisiche) e dirette (carotaggi con campionamento e analisi di terreni) commissionata dal Ministero della Difesa alla società SO.IN.G. s.r.l., finalizzata alla ricerca di masse anomale interrato presso l'ex Magazzino Materiali ubicato a Ronciglione (VT).

Il confronto tra le CSC previste nell'Allegato 5 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06 (Tabella 1) e i risultati delle analisi chimiche sui 20 campioni di terreno prelevati ha evidenziato le seguenti non conformità:

- Su 2 campioni di terreno, superamento della CSC Col. B (Siti ad uso commerciale e industriale), per il solo parametro Arsenico;
- Su 1 campione di terreno, superamento delle CSC Col. A (Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) per i parametri Arsenico, Zinco e Tetracloroetene (PCE).

In qualità di gestore del sito, il Centro Tecnico Logistico Interforze N.B.C. ha pertanto effettuato la comunicazione prevista dall'Art. 245 del D.Lgs. 152/06 a Regione, Provincia e Comune di Ronciglione con nota Prot. n. 1/37 Cod.id.I Ind.cl.10.12.6.3. del 25 marzo 2010.

L'ARPA Lazio, con deliberazione n. 153 del 19 novembre 2010, ha stipulato una convenzione con il Centro Tecnico Logistico Interforze N.B.C. per la redazione ed esecuzione del piano della caratterizzazione del sito, come previsto dall'art. 242 del D.Lgs. 152/2006 "Procedure operative e amministrative" e in conformità Allegato 2 al Titolo V della parte quarta del succitato D.Lgs. ("Criteri generali per la caratterizzazione dei siti contaminati").

Lo start-up delle attività è avvenuto in data 17 gennaio 2011, come richiesto dal Centro Tecnico Logistico Interforze N.B.C. con comunicazione dell'11/01/2011.

1.2 Riferimenti tecnico-normativi

Il D.Lgs. 5 febbraio 1997 n. 22 (decreto Ronchi) all'articolo 17 ha delineato per la prima volta le procedure amministrative, giuridiche e tecniche di riferimento per le attività di bonifica dei siti contaminati, rimandando la disciplina degli aspetti strettamente tecnici ad un suo regolamento attuativo, il D.M. n. 471 del 25 ottobre 1992 ("Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni").

In data 14 aprile 2006 veniva pubblicato su Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana il D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" che riscrive e unifica le norme ambientali, abrogando le preesistenti (con particolare riferimento al D.Lgs 5 febbraio 1997 n. 22 ed al D.M. n. 471 del 25 ottobre 1999). Tale decreto legislativo al Titolo V della parte quarta denominato "bonifica di siti contaminati" disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati e definisce le procedure, i criteri e le modalità per lo svolgimento delle operazioni necessarie per l'eliminazione delle sorgenti dell'inquinamento e comunque per la riduzione delle concentrazioni di sostanze inquinanti. In particolare la redazione dei progetti di bonifica deve essere articolata come di seguito riportato:

- I. piano della caratterizzazione;

- II. analisi di rischio;
- III. progetto operativo di bonifica o di messa in sicurezza permanente.

L'Allegato 2 al Titolo V della parte quarta stabilisce che la caratterizzazione ambientale di un sito è identificabile con *"l'insieme delle attività che permettono di ricostruire i fenomeni di contaminazione a carico delle matrici ambientali, in modo da ottenere le informazioni di base su cui prendere decisioni realizzabili e sostenibili per la messa in sicurezza e/o bonifica del sito....."*

Per "caratterizzazione" dei siti contaminati si intende quindi l'intero processo costituito dalle seguenti fasi:

1. ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito;
2. elaborazione del modello concettuale preliminare del sito e predisposizione di un piano di indagini ambientali finalizzato alla definizione dello stato ambientale del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee;
3. esecuzione del piano di indagini e delle eventuali indagini integrative necessarie alla luce dei primi risultati raccolti;
4. elaborazione dei risultati delle indagini eseguite e dei dati storici raccolti e rappresentazione dello stato di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee;
5. elaborazione del modello concettuale definitivo;
6. identificazione dei livelli di concentrazione residua accettabili sui quali impostare gli eventuali interventi di messa in sicurezza e/o di bonifica, che si rendessero successivamente necessari a seguito dell'analisi di rischio calcolati mediante analisi di rischio.

La Caratterizzazione ambientale sarà avviata successivamente alla approvazione da parte delle Autorità Competenti del Piano di Indagini di cui al punto 2 e si riterrà conclusa con l'approvazione, in unica soluzione, da parte delle Autorità Competenti dell'intero processo sopra riportato: al termine delle attività di cui al punto 5 nel caso di non superamento delle CSC e al termine dell'attività di cui al punto 6 qualora si riscontri un superamento delle suddette concentrazioni.

Si elencano di seguito le linee guida tecnico-normative cui si è fatto riferimento per la redazione del presente elaborato:

- Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati (APAT, 2006);
- Linee guida per il collaudo di scavi per interventi di bonifica on-site e off-site (Provincia di Milano, linee guida n.9, 2004)
- Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale (APAT / ISS, 2006)
- Procedura operativa ARPALazio - Gestione delle attività riguardanti le bonifiche di siti contaminati (ARPA Lazio, 2010)

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Localizzazione del sito

Il sito oggetto di studio, interamente compreso nel territorio del comune di Ronciglione (VT), è ubicato circa 2 km a Ovest dell'abitato di Punta del Lago, tra la strada provinciale di Poggio del Cavaliere e la strada circumlacuale provinciale di Valle Vico (Figura 1).

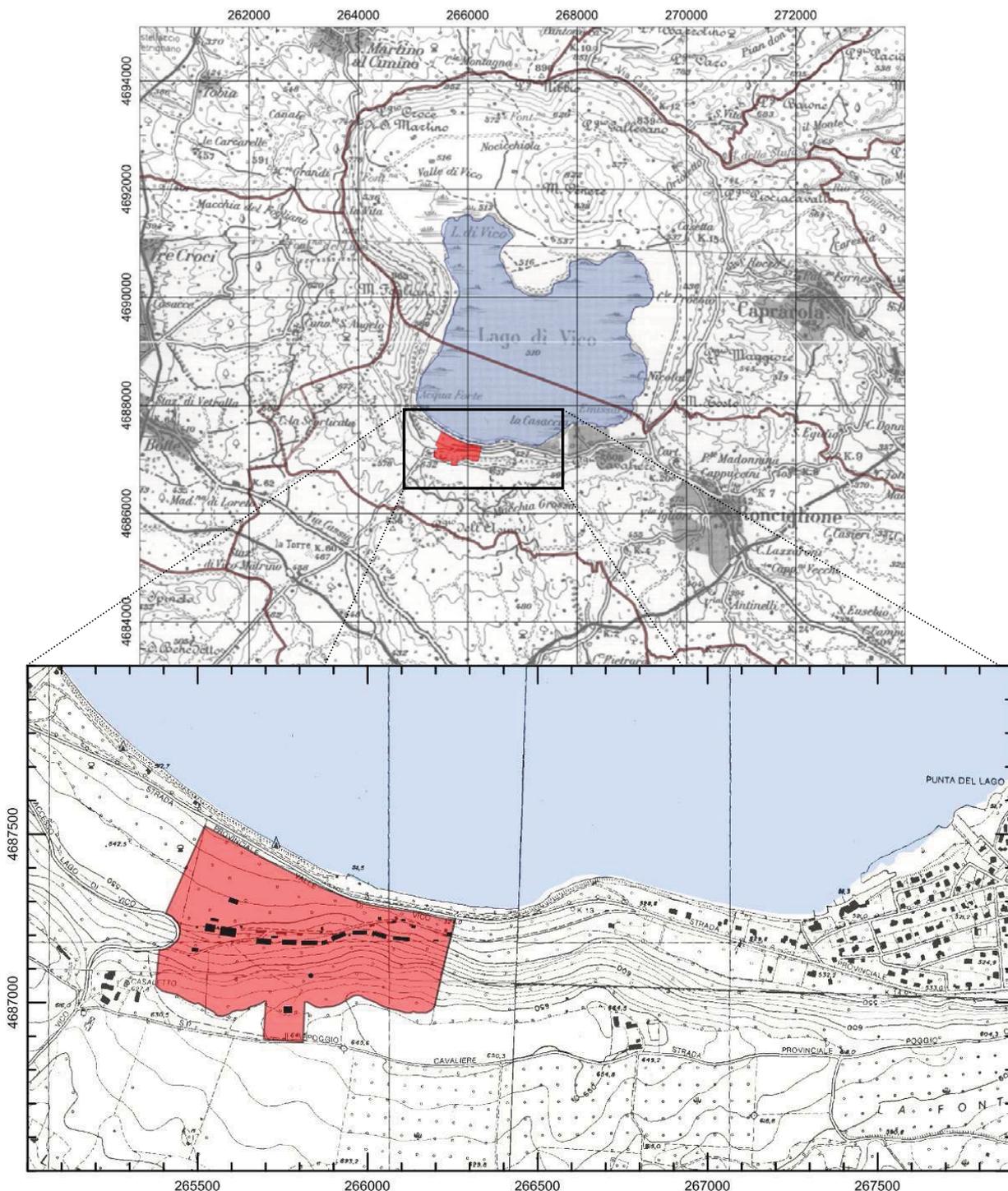


Figura 1 – Ubicazione del sito oggetto di studio su stralcio scalato della Carta Tecnica Regionale);
coordinate in metri (UTM zona 33, ED50)

Allo stato attuale l'area di interesse, interamente recintata con rete metallica, risulta avere un'estensione approssimativa di 30 ha (317400 m²).

2.2 Inquadramento morfologico e idrologico

Il contesto morfologico nel quale è compreso il sito oggetto di studio è caratterizzato dalla presenza della caldera vicana, un vaso coincidente con la depressione generatasi dal collasso successivo all'attività vulcanica vicana. La depressione, dalla forma sub circolare, è parzialmente occupata dal lago di Vico, il cui specchio d'acqua si estende per circa 12 km² alla quota media di circa 510 m s.l.m. ricoprendo circa $\frac{1}{4}$ del bacino imbrifero.

Il lago è contornato da una fascia sub pianeggiante di limitata estensione, maggiormente consistente nell'area Nord alle pendici del Monte Venere. Quasi per l'intero perimetro del lago, la piana è interrotta verso monte da una brusca rottura di pendio e i versanti si elevano molto acclivi fino a quasi quota 1000 m s.l.m. in corrispondenza dell'orlo calderico. Il bacino imbrifero è di tipo endoreico anche se è presente una galleria artificiale nell'area sudorientale del lago che genera un emissario che scarica le sue acque nel Rio Vicano. Caratteristica risulta inoltre la presenza della struttura di Monte Venere che si eleva, isolato all'interno della caldera, fino alla quota di circa 850 m s.l.m..

L'idrologia del bacino imbrifero del lago di Vico è caratterizzata dall'assenza di un marcato reticolo idrografico; i fossi di recapito delle acque meteorologiche, per la maggior parte a sviluppo radiale rispetto al perimetro del lago, risultano di natura effimera con apporti saltuari e proporzionati soprattutto all'intensità delle precipitazioni.

In Tabella 1 si riepilogano le principali caratteristiche morfometriche e idrologiche relative al corpo lacustre, così come riportate nello *Studio di caratterizzazione e relativo monitoraggio delle acque dei corpi idrici superficiali e delle falde sottostanti le aree di ricarica del bacino lacustre di Vico* (Capelli et al., 2007).

Tabella 1 – Dati morfometrici relativi al lago di Vico (Capelli et al., 2007, modifica)

| Parametro | UdM | Valore |
|--|-----------------|-----------------------|
| Quota media del pelo libero | m s.l.m. | 510 |
| Perimetro | km | 16.9 |
| Superficie dello specchio d'acqua S_L | Km ² | 12.1 |
| Profondità massima | m | 48,5 |
| Profondità media | m | 21.6 |
| Volume del lago | m ³ | 260.8·10 ⁶ |
| Superficie del bacino imbrifero (lago escluso) S_B | Km ² | 28.8 |
| Superficie del bacino idrogeologico (lago escluso) S_G | Km ² | 33.3 |
| Indice di lacualità ($S_L / (S_L + S_B)$) | - | 0.29 |

2.3 Inquadramento geologico ed idrogeologico

L'area oggetto di studio è inserita nel contesto geologico dei Distretti Vulcanici Cimino-Vicano. Quello Cimino risulta essere, nel Nord del Lazio, il più antico distretto vulcanico; seguono, in ordine temporale, il Vulsino e il distretto Vicano.

Il distretto Cimino si inserisce in un settore pre-appenninico interessato da faglie con direzione prevalente NW-SE e subordinatamente antiappenniniche NE-SW. Le depressioni strutturali del substrato sedimentario sono state colmate dal Messiniano al tardo Pliocene da alcune centinaia di metri di sedimenti.

Di seguito si riportano alcune rappresentazioni grafiche ritenute particolarmente rappresentative dell'assetto geologico della zona in cui è inserito il sito, elaborate a partire dai dati raccolti nel documento *Studio di caratterizzazione e relativo monitoraggio delle acque dei corpi idrici superficiali e delle falde soggiacenti le aree di ricarica del bacino lacustre di Vico* (Capelli et al., 2007):

- estratto della carta geologica d'Italia (Figura 2 e Tabella 2);
- mappa riportante 3 tracce di profili geologici (A, B e C) relativi alla zona di interesse (Figura 3);
- profili geologici A, B e C (Figura 4 e Figura 5).

Il distretto vulcanico Cimino, come evidenziato in Figura 2 e nei profili geologici, è impostato su un substrato di rocce sedimentarie del Pliocene-Pleistocene che comprende argille, sabbie e conglomerati marini. A queste seguono depositi flyschoidi del Cretaceo-Oligocene costituiti da argilliti, marne, calcareniti, calcari marnosi e arenarie. In profondità, infine, si trovano le rocce carbonatiche del Triassico-Paleogene (Successione Umbro-Marchigiana), spesse parecchie migliaia di metri, che comprendono calcari, marne, calcari marnosi, calcari dolomitici e anidriti (La Torre et al., 1981).

L'attività del Distretto Vulcanico Cimino risale al periodo compreso tra 1,35 e 0,8 Ma. Inizialmente si verificò la risalita, lungo le fratture, di magmi viscosi acidi con la formazione di domi e cupole di ristagno che produssero lave quarzolatitiche; tali domi sono distribuiti lungo linee semiradiali e semianulari rispetto al domo di Monte Cimino, il quale rappresenta la porzione apicale del laccolite. In seguito si registrarono violente fasi esplosive che produssero ignimbriti quarzolatitiche ("Peperino tipico" del viterbese) e lave latitico-trachitiche oliviniche (Cimarelli et al., 2006).

Il distretto vulcanico Vicano, immediatamente a sud dell'apparato vulcanico Cimino, è stato caratterizzato da un'attività essenzialmente esplosiva con chimismo alcalino-potassico, iniziata al termine dell'attività del Cimino, e sviluppatasi tra 0,8 e 0,09 Ma. Il distretto si sviluppa principalmente da un edificio centrale, dalla tipica forma di strato-vulcano con la parte terminale troncata da una caldera eccentrica verso Sud e da un edificio secondario, il vulcano di Monte Venere.

Nella sua storia evolutiva, è possibile riconoscere quattro fasi principali. La prima, compresa tra 0,8 e 0,4 Ma, ha dato origine alla deposizione di spesse coltri piroclastiche, producendo complessi tufacei compositi. Nella seconda fase, compresa tra 0,35 e 0,2 Ma, si riconoscono alla base lave da trachitiche a leucitiche che verso l'alto vengono sostituite da tefriti e da lave fonolitiche.

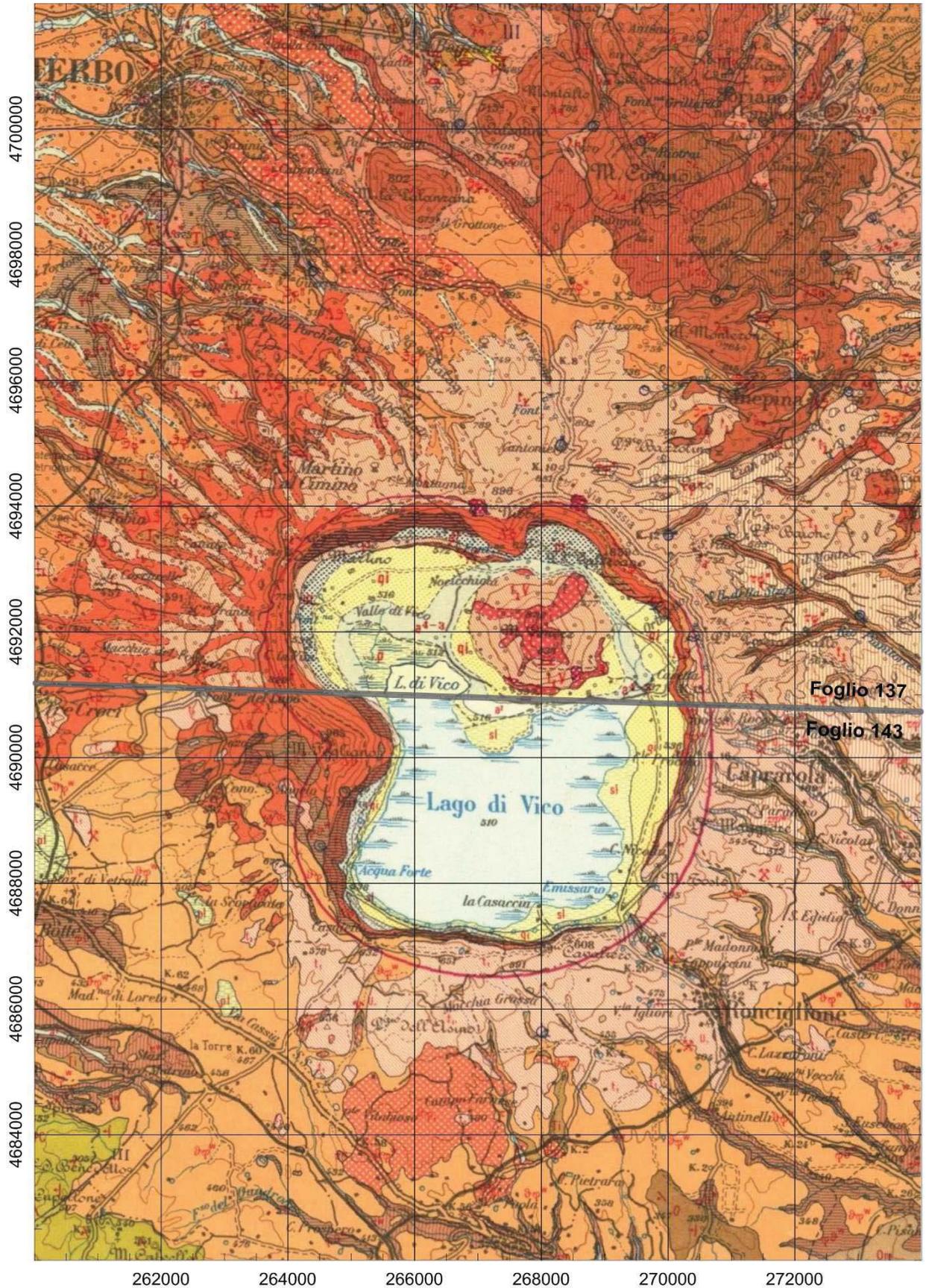


Figura 2 – Stralci scalati della Carta Geologica d'Italia al 100k relativo alla zona di interesse (fogli 137 e 143); coordinate in metri (UTM zona 33, ED50), reticolo con maglia 2 km x 2 km

Tabella 2 – Legenda affioramenti dei litotipi olocenici e pleistocenici (relativi all'apparato vulcanico Vicano), modificata dai Fogli 137 (Viterbo) e 143 (Bracciano) della Carta Geologica d'Italia al 100k

| | Descrizione |
|---|---|
|  | (dt) Detrito di falda. (SI) Sabbie dei litorali lacustri. |
|  | (a ²) Alluvioni medio recenti ed attuali: depositi eluviali terrosi, a luoghi argilloso sabbiosi, dei fondo-valle; prodotti di disfacimento dei versanti dove non è possibile distinguervi la roccia di origine |
|  | (qi), (pl) Tufi rimaneggiati e tufiti a stratificazione minuta suborizzontale, con potenza complessiva limitata a pochi metri, delle depressioni di Vico e di Bracciano (qi). Depositi sartumosi: argille terrose nerastre o grigiastre dovute al colmamento di conche palustro-lacustri (pl). |
|  | (t ₁) Tufi finali, prevalentemente trachitico-fonolitici, bruni o biancastri, per lo più cineritici, con strati a lapilli ed a blocchi soprattutto sulle pendici esterne dell'apparato; stratificazione fitta con ondulazioni frequenti e piuttosto ampie. |
|  | (τ φ ^w) "Ignimbrite" IV, prevalentemente trachitico-fonolitica, biancastra, con pomice grige, nere e biancastre, ricca di ciottoli lavici: in alto sfuma verso i tufi agglomeratici; è diffusa sul versante orientale dell'apparato ("tufo bianco di Fabrica" – "ignimbrite D"); spessore medio limitato a pochi metri, con un massimo di 80 m. |
|  | (θ φ ^w) "Ignimbrite III", prevalentemente tefritico-fonolitica, con transizioni a termini trachitici e latitici, con pomice generalmente giallastre e rossastre frammiste a pomice nere a grossi fenocristalli di leucite e sanidino. Facies a xenoliti di lave diverse, da minute ad enormi, e a pomice nere, caratteristica soprattutto dei pendipericalderici. Potenza notevole, largamente variabile, grado di compattezza vario ed in funzione del grado di alterazione della roccia: le porzioni più fresche sono grigio-scure e sciolte ("pozzolana"), mentre quelle alterate, giallo-rossicce, con rare pomice nere, sono compatte ed usate per la produzione di blocchetti da costruzione ("tufo litoide a scorie nere", "ignimbrite C"). |
|  | (τ ^w - τ ρ ^w) "Ignimbrite II" trachitica, prevalentemente grigia, con pomice nere o più chiare, caratterizzate da grossi fenocristalli di sanidino e prive di leucite. Frequenti facies cineritiche, specialmente al letto e al tetto. È diffusa soprattutto nel settore meridionale dell'apparato, ove raggiunge uno spessore massimo di 50 m ("Ignimbrite B"). |
|  | (φ θ ^w) "Ignimbrite I", fonolitico-tefritica, con frequenti transizioni a tipi trachitici e latitici; prevalentemente grigia o grigio-violacea, fittamente cosparsa di piccole leucite, di aspetto agglomeratico con frammenti lavici e con pomice piuttosto compatte a feldspati e leucite ("Ignimbrite A"). Spessore medio 10 m. Facies laviche variamente microvescicolate rappresentano la transizione ai tipi suddetti. Alla base della formazione generalmente compare un livello di tufi pomice biancastri. |
|  | (θ φ ₁) Lave tefritico-fonolitiche a leucite, con fenocristalli di dimensioni molto varie. Rocce di color grigio-violaceo, solitamente poco coerenti ("petrisco" dei locali) perché diffusamente vescicolate e a vario grado di alterazione (Campo Farnese). |
|  | (Λ θ) Tefriti fonolitiche e fonoliti tefritiche con grosse ed abbondanti leucite, con o senza sanidini ("occhio di pesce" od "occhidina" dei locali), compatte o ampiamente arenizzate. Serie di più colatedi varia potenza, con intercalazioni di ceneri e lapilli in lenti di pochi metri; generalmente alla base delle formazioni ignimbritiche, localmente intercalate (Vetralla). Costituiscono l'apparato centrale e piccoli apparati periferici e si estendono fino a 20 km dalla fascia intercalderica. |
|  | (τ) Lave trachitiche a grossi sanidini e lave trachitiche a leucite, fino a fonoliti; grige, molto compatte, un po' bollose, formano coalte potenti qualche decina di metri, spesso intercalate con le precedenti Λθ; affiorano nella fascia intercalderica. |
|  | (Ti) Complesso tufaceo composito, comprendente tutti i tipi sopradescritti, con prevalenza di tipi trachitico-fonolitici, bruno-giallastro, per lo più cineritico, con strati a lapilli e pomice di dimensioni variabili (diametro 1-3 cm); alternanze di strati o lenti di limi e sabbie con prevalenti elementi vulcanici e piante e molluschi dulcicoli; localmente livelli paleosuolizzati. Comprende per la gran parte prodotti rimaneggiati di formazioni vulcanitiche precedenti ed indica fenomeni esplosivi ed erosivi intercalati alle manifestazioni laviche ed "ignimbritiche". |

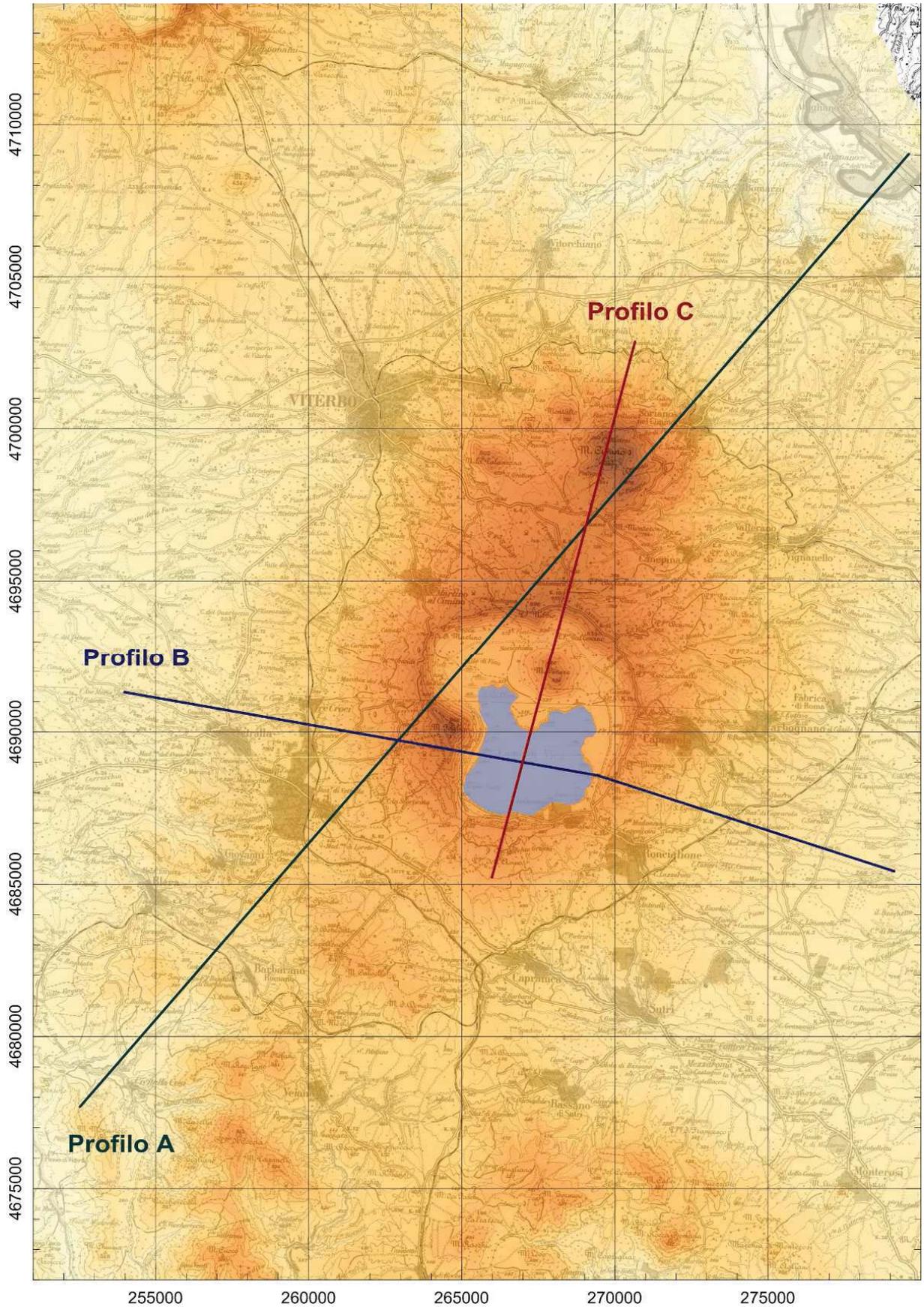


Figura 3 - Tracce delle sezioni geologiche A, B e C (modificato da Capelli et al., 2007); coordinate in metri (UTM zona 33, ED50), reticolo con maglia 5 km x 5 km

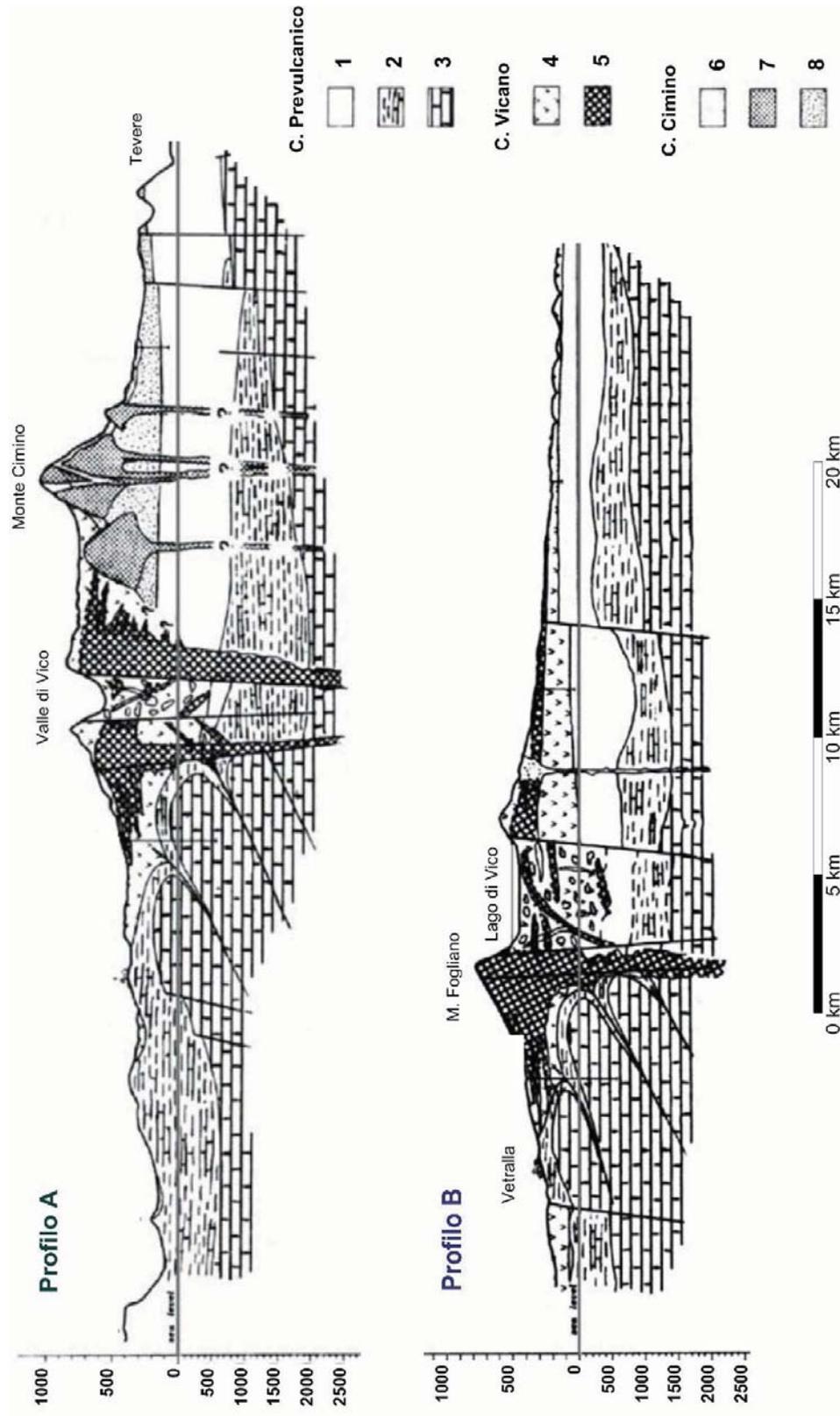


Figura 4 – Sezioni geologiche A e B (modificate da La Torre et al., 1981). LEGENDA: 1) Formazioni del ciclo neoautoctono (Miocene, Pliocene, Quaternario); 2) Formazioni alloctone in facies di flysch (Cretaceo superiore – Oligocene); 3) Basamento carbonatico mesozoico; 4) Tufi e lave; 5) Lave e tufi; 6) Colate di lava; 7) Lave in domi; 8) Ignimbriti.

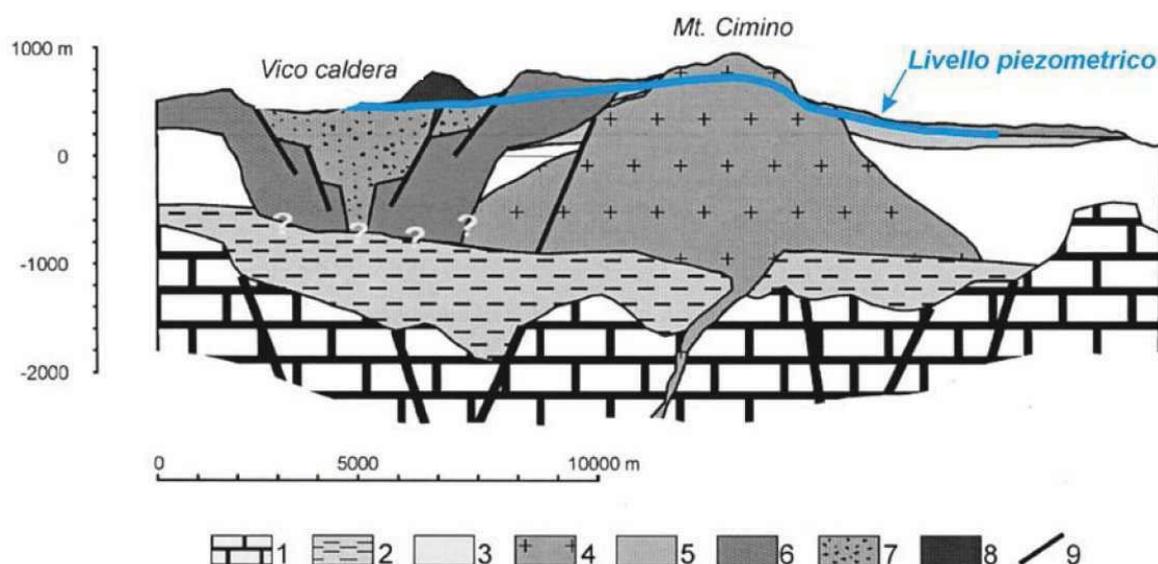


Figura 5 – Sezione geologica C (modificata da Cimarelli, 2006). LEGENDA: 1) Calcari mesozoici; 2) Sedimenti silicoclastici cenozoici; 3) Sedimenti marini plio-pleistocenici; 4) lave trachidacitiche; 5) ignimbriti; 6) Depositi alcalino-potassici della caldera di Vico; 7) Depositi vulcanici di riempimento della caldera di Vico; 8) Cono di scorie del Monte Venere; 9) Faglie e fratture.

La terza fase dell'attività del distretto Vicano è compresa tra 0,2 e 0,15 Ma, ed è nuovamente di tipo esplosivo con emissione delle principali colate piroclastiche note come ignimbriti A, B e C. Al termine si verifica il collasso di parte della cinta calderica e l'inizio della formazione del bacino lacustre, oggi ospitante il lago di Vico. Nella quarta fase, tra 0,14 e 0,095 Ma si verificano violente eruzioni idromagmatiche che originano prodotti come l'Ignimbrite D ed il tufo cineritico con inclusi lavici. L'edificazione del cono di lave del Monte Venere, a Sud-Est della caldera, segna il termine dell'attività (Locardi, 1965; Bertagnini, 1986).

Nel settore del Lazio settentrionale in cui rientra l'area oggetto di studio la coltre vulcanica rappresenta l'elemento caratteristico e soltanto in corrispondenza delle profonde incisioni vallive o delle culminazioni tettoniche sono visibili sporadici affioramenti delle formazioni sedimentarie che costituivano il paesaggio prevulcanico.

Con riferimento allo schema idrogeologico dell'Italia centrale (C. Boni et al., 1986), la struttura idrogeologica del gruppo dei Monti Vulsini-Cimini e Sabatini è caratterizzata dalla presenza dell'intergitazione del complesso delle lave e delle ignimbriti litoidi con il complesso delle piroclastiti, rispettivamente identificati con i numeri 9 e 8 riportati in Figura 6, modificata a partire dalla carta idrogeologica della regione Lazio (Boni et al., 1988).

Segue una breve descrizione dei suddetti complessi idrogeologici:

- n.8 - complesso idrogeologico delle piroclastiti: prodotti piroclastici indifferenziati (tufi litoidi, tufi cineritici e colate piroclastiche) con spessori variabili dotati nell'insieme di buona permeabilità idraulica e capacità d'immagazzinamento e contenenti falde di notevole importanza regionale caratterizzate da una buona qualità delle acque per ridotto contenuto salino salvo la presenza localizzata di venute di acque molto mineralizzate, con concentrazione anomala di particolari elementi, prodotte da residua attività idrotermale;

- n.9 - complesso idrogeologico delle lave e delle ignimbriti litoidi: rocce dure e compatte di spessore molto variabile, permeabili per fessurazione che nel saturo contengono falde molto produttive con acque di buona qualità.

Sintetizzando quanto illustrato in cartografia, l'acquifero di importanza regionale è impostato nelle vulcaniti indifferenziate, spesse anche centinaia di metri, tamponate al letto da una articolata coltre sedimentaria prevulcanica basso trasmissiva rappresentata dai sedimenti silicoclastici cenozoici e dai depositi marini plio-pleistocenici. Esse assorbono in media ogni anno circa 300 mm di pioggia.

E' opportuno evidenziare la presenza di numerose manifestazioni idrotermali connesse ad una grande anomalia termica positiva a scala regionale orientata secondo la direttrice tettonica appenninica, la cui risalita si imposta nell'area di maggiore assottigliamento del substrato impermeabile delle vulcaniti; solo le più importanti di tali manifestazioni sono rappresentate in Figura 6 (stelle e cerchi di colore rosso).

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque termominerali indicano che esse provengono da un unico acquifero costituito dal complesso carbonatico confinato toscano-umbro-marchigiano del Trias-Cretaceo ubicato al di sotto delle coltri basso trasmissive cenozoiche e plio-pleistoceniche. Una venuta idrotermale localizzata all'interno della caldera, al margine occidentale del perimetro del lago presso il Centro studi Fogliano, conferma che anche l'area del lago di Vico è direttamente interessata dal fenomeno di risalita idrotermale.

La ricostruzione della circolazione idrica sotterranea del bacino idrogeologico del lago di Vico è schematizzata sempre in Figura 6 tramite curve isopiezometriche. Si evidenzia la presenza di un'area di alimentazione a Nord del lago, in continuità con le acque dello stesso, che imposta un sistema di deflusso sotterraneo sostanzialmente di tipo assiale, verso il bacino del fiume Tevere ad Est e verso il bacino del fiume Marta ad Ovest, con la risorgenza delle acque in forma sia puntuale (rappresentata in mappa da cerchi colorati) che lineare (rappresentata in mappa da triangoli colorati) alla quota media di circa 250 m s.l.m., a circa 10 km di distanza dall'asse di drenaggio.

Lo studio idrogeologico più recente e di maggior dettaglio (Capelli, 2007) propone una ricostruzione piezometrica basata sull'interpolazione di un elevato numero di misure di livello in pozzi della zona, e conferma sostanzialmente l'interpretazione riportata nella mappa di cui sopra, salvo la definizione di un'ulteriore zona di alimentazione della falda idrica, da Est rispetto al lago, a Nord dell'abitato di Caprarola.

Gli stessi autori su citati, evidenziano la presenza di acquiferi costieri del lago costituiti dai detriti di falda, conoidi di deiezioni, alluvioni attuali e recenti e dalle sabbie del litorale lacustre, le cui falde idriche sono in continuità idraulica con le acque del bacino lacustre e che quindi alimentano il lago, o viceversa sono alimentate, in funzione del gradiente imposto dalla quota assunta nelle diverse stagioni dalla superficie del lago.

Per concludere e schematizzare il quadro idrogeologico del lago Vico, la ricarica del bacino lacustre, secondo la ricostruzione idro-strutturale di cui sopra, prescindendo dalle piogge, avverrebbe essenzialmente per il trabocco della falda regionale al di sopra dei depositi lacustri, secondo una direttrice di flusso N-NE – S-SW che si origina in corrispondenza del Monte Cimino e dello spartiacque nord-orientale.

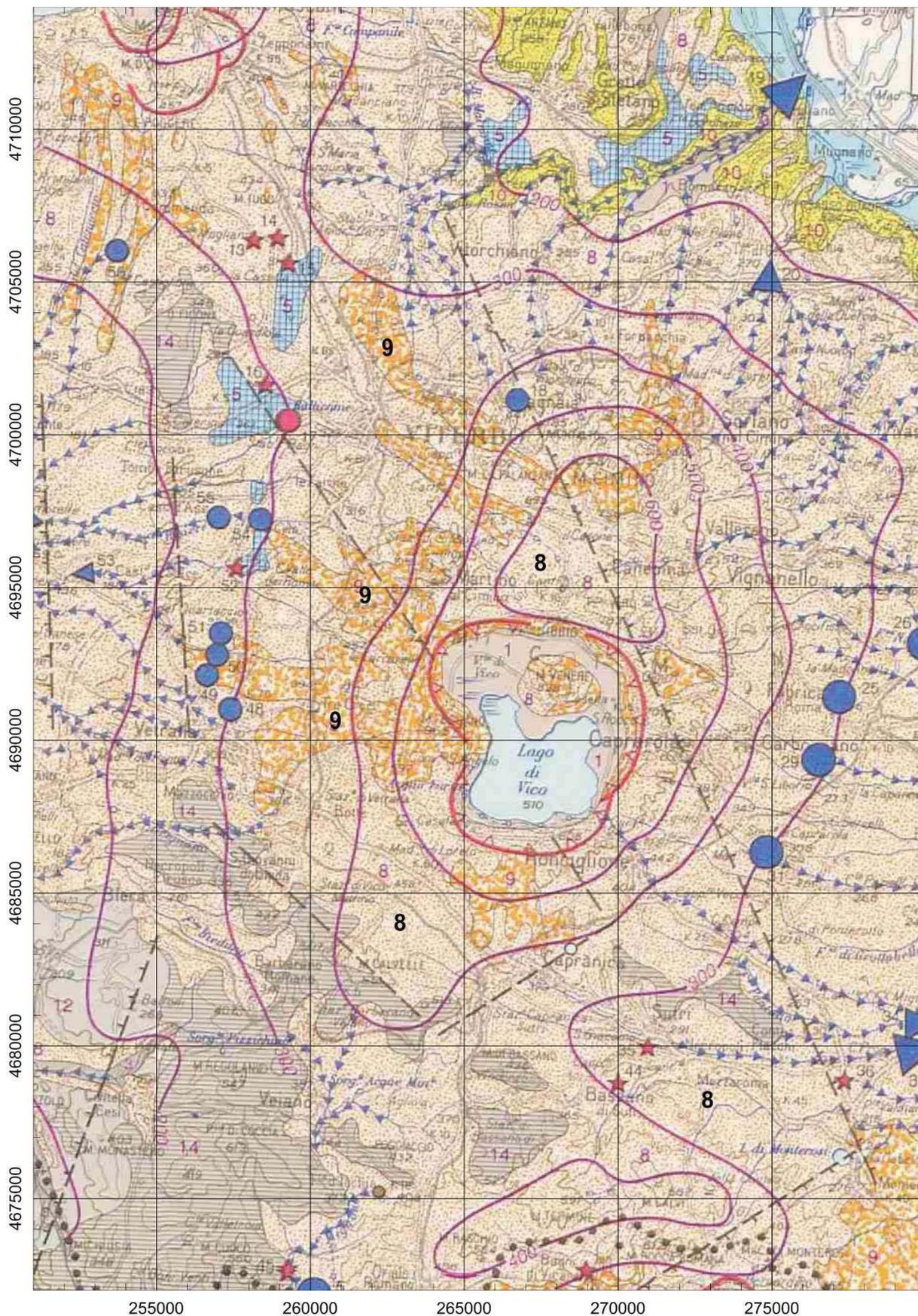


Figura 6 – Stralcio scalato della carta idrogeologica del territorio della regione Lazio (modificato da Boni et al., 1988); coordinate in metri (UTM zona 33, ED50), reticolo con maglia 5 km x 5 km

3 RACCOLTA E SISTEMATIZZAZIONE DEI DATI ESISTENTI

3.1 Assetto morfologico di dettaglio

L'area dedicata all'attività produttiva del sito NBC, si sviluppa su un gradone parallelo alla linea di costa del lago ubicato tra le quote di circa 530-550 m s.l.m. e quindi a circa 20-40 m sopra la quota media della superficie del lago. La morfologia del gradone è sub pianeggiante debolmente degradante verso Nord, cioè verso il lago, e maggiormente sviluppata nell'area occidentale del sito. L'unico elemento morfologico chiaramente identificato in campo che interrompe l'andamento sub pianeggiante dell'area circumlacuale è rappresentato da un fosso ad andamento ortogonale rispetto alla linea di costa, ubicato nell'area occidentale del sito. Al margine meridionale dell'area sub pianeggiante di cui sopra, dove le strutture antropiche sono allineate, l'andamento morfologico è interrotto da una brusca rottura del pendio per la presenza di una ripida scarpata che si eleva fino all'orlo calderico, alla quota di circa 640-650 m s.l.m.; nell'area di "Poggio dei Cavalieri" la morfologia riacquista un andamento debolmente sub pianeggiante.

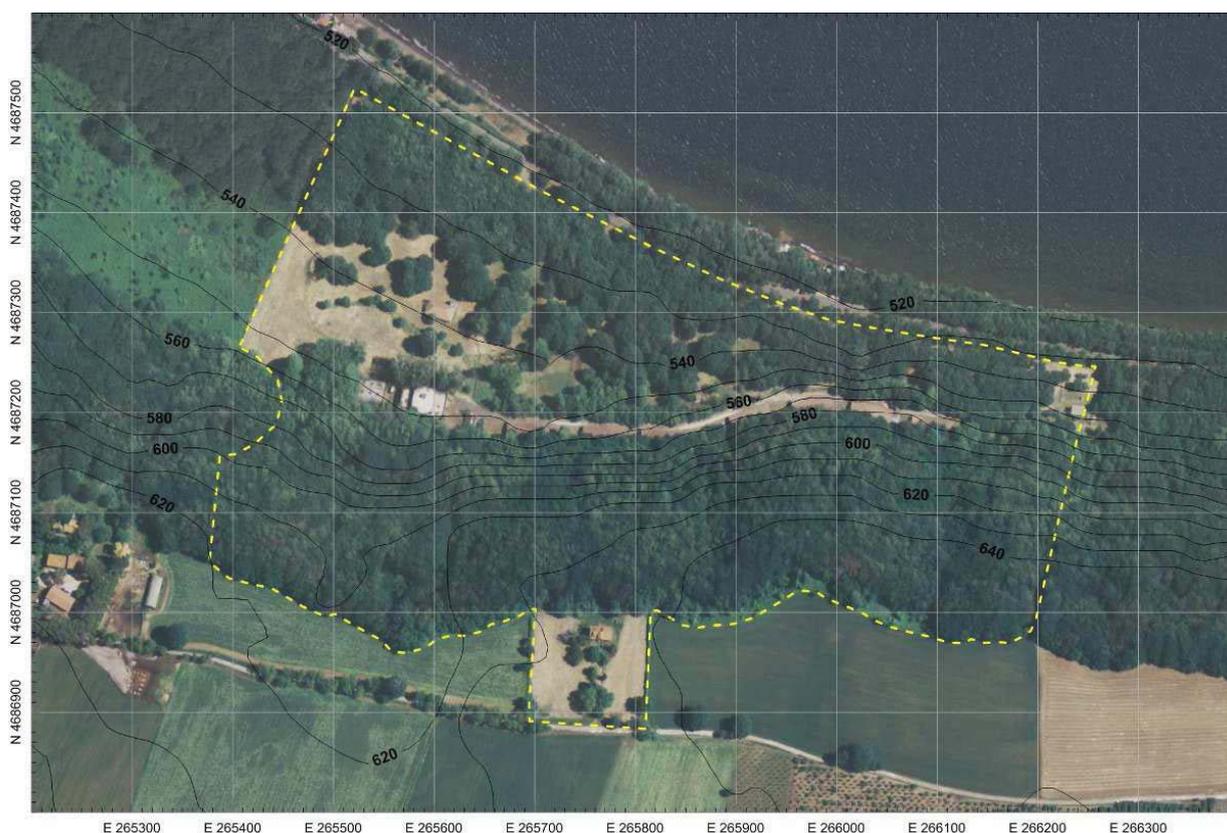


Figura 7 – Perimetro dell'ex Magazzino NBC su ortofoto del 2005; isoipse con passo 10 m ottenute dal DTM Regione Lazio; coordinate in metri (UTM zona 33, ED50), reticolo con maglia 100 m x 100 m

Escludendo l'area di pertinenza dell' "ex residenza del comandante", la perimetrazione meridionale del sito si sviluppa fino al limite dell'orlo calderico. I rilievi di dettaglio effettuati in sito tra maggio e giugno 2011, concentrati nell'area sub pianeggiante in cui è stata svolta

prevalentemente l'attività antropica, hanno permesso l'identificazione delle seguenti strutture morfologiche (rappresentate in Tavola 1):

- nell'area nordoccidentale, rappresentata in verde, è evidenziata l'ubicazione del canalone che rappresenta il principale impluvio di collettamento delle acque meteoriche dell'area del pianoro;
- nella parte centrale della tavola, in colore giallo, sono stati riportati i principali terrazzi riconducibili ad attività di modellamento antropico, il più esteso dei quali (A) è ubicato immediatamente a nord dei fabbricati 3 e 4, impostato alla quota di ingresso dei fabbricati stessi e chiuso a valle da una scarpata circa 3-4 metri;
- ad est del succitato terrazzo, separato da un'incisione che permette un agevole accesso alla parte inferiore del gradone, si nota un secondo rilevato di estensioni ridotte (B), sopraelevato sia rispetto al piano sottostante, di circa 2-3 metri, sia rispetto al piazzale (C) su cui insistono i fabbricati;
- all'altezza del fabbricato 7, ad una distanza di circa 70 m in direzione del lago, è stato rilevato un ulteriore terrazzo (D) di forma triangolare, delimitato verso nord da una scarpata di circa 2 metri;
- ad ovest dell'edificio 22, infine, è stata rilevata la presenza di un cumulo di forma sub circolare, di diametro pari a circa 10 metri e altezza dell'ordine di 2 metri.

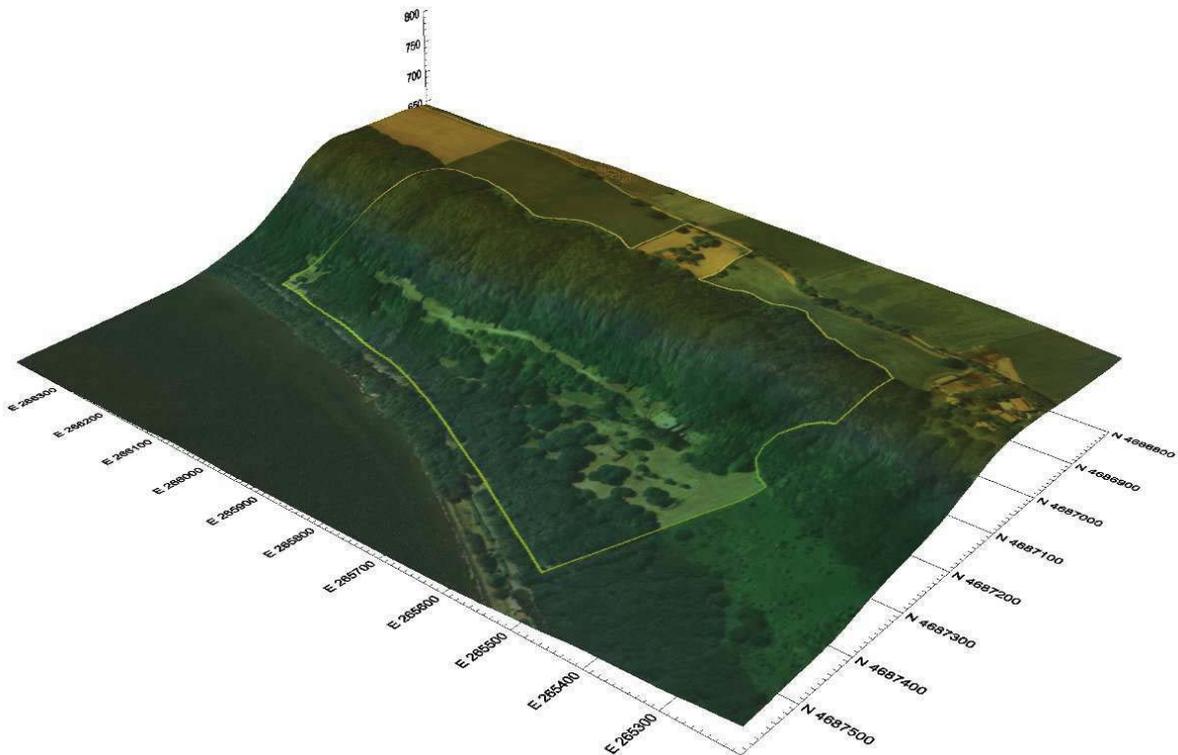


Figura 8 – Perimetro del sito oggetto di studio (in giallo), su ricostruzione tridimensionale della costa sud del lago di Vico, vista da Nord-Ovest; draping dell'ortofoto 2005 su DTM regionale di passo 20 m; coordinate in metri (UTM zona 33, ED50), reticolo con maglia 100 m x 100 m

3.2 Assetto geologico e idrogeologico di dettaglio

L'integrazione dei dati bibliografici con le evidenze di campo osservate durante i sopralluoghi e con i risultati delle indagini dirette eseguite dalla ditta SO.IN.G. nel 2009, ha consentito di ricostruire in dettaglio l'assetto geologico locale.

Dai dati di letteratura si evince che nell'area di pertinenza del sito affiorano:

- nella fascia di scarpata, dal basso verso l'alto, litotipi ascrivibili alla sequenza vulcanica dell'attività vicana, costituiti dalle lave trachitiche poggianti sul complesso tufaceo composito, le ignimbriti e i tufi finali nella porzione a ridosso dell'orlo calderico;
- nella zona di contatto col pianoro sottostante, ai piedi della scarpata stessa, detriti di falda;
- nella zona del pianoro fino al perimetro settentrionale del sito, alluvioni lacustri fraposte e/o sovrastanti i depositi di conoide e le formazioni vulcaniche,.

Nel corso dei sopralluoghi è stato osservato sul fronte della scarpata, all'interno di una cavità sub orizzontale a sviluppo N-S, alla quota di circa 570 m s.l.m., un affioramento che evidenzia la presenza del contatto dei sottostanti tufi stratificati, probabilmente ascrivibili al "complesso tufaceo composito", con le lave sovrastanti, separati da uno strato di spessore metrico di breccie con inclusi decimetrici, parzialmente saldate, che potrebbe essere interpretato come la parte autobrecciata del fronte della colata.

Si riportano alcune immagini significative dell'affioramento.



Figura 9 – Ingresso della cavità: affioramento delle lave



Figura 10 – Particolare del contatto delle piroclastiti (A) con la breccia (B)



Figura 11 – particolare del contatto della breccia (C) con le lave (D)

Dalle stratigrafie prodotte dalla SO.IN.G. si evince che nell'area di investigazione, al di sotto di una coltre pedogenizzata di spessore decimetrico, il substrato è costituito da depositi incoerenti di origine vulcanica contenenti ciottoli di varia pezzatura ascrivibili o ai depositi vulcanici autoctoni di riempimento della caldera e di erosione di pendio, o a materiale sempre di origine locale, ma messo in posto per rimaneggiamento antropico. A supporto di questa seconda tesi si evidenzia che nel sondaggio S5 veniva intercettato del materiale ferroso alla profondità di circa 3.5 m da p.c. e che nei sondaggi S7 e S8 sono state intercettate, alla profondità di circa 3 m da p.c., le sabbie vulcaniche di colore grigio-nero, verosimilmente riconducibili alla più recente formazione alluvionale di deposizione lacustre. Si evidenzia inoltre che in nessun sondaggio (tutti limitati alla profondità di 5 m) è stato intercettato l'orizzonte litoide che costituisce il substrato dei terreni incoerenti.

Una ricostruzione idrogeologica di dettaglio non è al momento possibile, in assenza di approfondimenti sito-specifici. Sulla base dei dati a scala regionale sintetizzati nel par. 2.3, tuttavia, è possibile ipotizzare, al di sotto del sito, la presenza di una falda principale impostata nelle vulcaniti con direzione di deflusso da Nord verso Sud, alimentata quindi dal lago, caratterizzata da un gradiente idraulico dello 0.4%.

In corrispondenza della principale area sub pianeggiante del sito, pertanto, la soggiacenza della falda d'interesse regionale può essere stimata compresa tra 20 e 50 m.

A scala locale, tuttavia, è presumibile che il modello idrogeologico sia notevolmente più articolato, dal momento che la presenza di acquicludi o acquitardi frapposti all'acquifero di base potrebbe generare:

- una vera e propria falda sospesa con soggiacenza inferiore a quella di importanza regionale, impostata nei depositi incoerenti eventualmente tamponati da orizzonti basso trasmissivi, che travaserebbe nell'acquifero alluvionale costale con apporto al lago e quindi con direzione di deflusso opposta a quella prevista nel modello idrogeologico a larga scala;
- un alto piezometrico in corrispondenza dell'orlo calderico.

Poiché nei 10 sondaggi effettuati dalla SO.IN.G. non è stato intercettato alcun evidente livello idrico, a parte il riscontro di evidenze di umidità nei terreni al di sotto dei 3 m di profondità dal p.c. del sondaggio S7, si può escludere nell'area indagata la presenza di falde sospese fino a 5 metri di profondità.

3.3 Descrizione dello stabilimento e del ciclo produttivo

Per la tipologia delle attività che in esso sono state svolte, nonché per la particolarità del contesto storico-politico in cui è stato realizzato, il sito oggetto di studio presenta una storia caratterizzata da ampie lacune, parzialmente compensate dall'impegno e dalla disponibilità degli attuali gestori (Centro Tecnico Logistico Interforze di Civitavecchia).

3.3.1 Cenni storici

Dal momento in cui se ne ha notizia (che venne volutamente diffusa per fini propagandistici nei primi anni '30), fino alla dissoluzione del regime fascista, il sito risulta nella disponibilità del "Servizio Materiale Chimico da Guerra", organismo tecnico militare con finalità offensive che nel momento di massima attività arriva a gestire (sull'intero territorio nazionale) 20 depositi di materiale chimico e 12 impianti per la preparazione di aggressivi e nebbiogeni.

La base sulle rive del lago di Vico, in particolare, assume fin dall'inizio della sua storia funzionalità da "distaccamento di lavoro", distinguendosi in attività quali la produzione di fosgene e l'allestimento di munizionamento a caricamento speciale, in collaborazione con l'esercito tedesco a partire dal 1940.

Dopo l'8 settembre e fino al termine del secondo conflitto mondiale il sito viene occupato e gestito esclusivamente dall'esercito tedesco. Nel dopoguerra il centro Materiali torna nella disponibilità del Servizio Chimico dell'Esercito, le cui finalità cambiano in direzione esclusivamente difensiva con la nascita formale dell'"Ufficio di Difesa Atomica, Biologica e Chimica" e la realizzazione di un laboratorio sperimentale.

Nel 1962 il laboratorio diventa "Centro Tecnico Militare Chimico Fisico e Biologico" ("centechifis") con compiti prevalentemente scientifici, svolgendo attività di studio, ricerca e sperimentazione di carattere militare nel settore N.B.C.

Nel 1977 la sede del Centro Tecnico Militare viene trasferita nel comprensorio militare Santa Lucia di Civitavecchia; negli anni '80 anche lo stabilimento militare dei materiali di difesa N.B.C. ("stabimiles") viene trasferito nello stesso comprensorio; fino ad allora risulta che lo stabilimento svolgesse sia compiti logistici di approvvigionamento e manutenzione dei materiali N.B.C. sia compiti di bonifica e distruzione del munizionamento chimico rinvenuto sul territorio nazionale.

Nel 1998 i due Enti vengono posti alle dipendenze di Segredifesa/UGGEATI e nel 2001 transitano nell'area tecnico-operativa dello Stato Maggiore dell'Esercito, alle dirette dipendenze del Dipartimento Tecnico dell'Ispettorato Logistico (ora "Comando Logistico" dell'Esercito).

Il primo settembre 2004 viene emanato il Decreto Interministeriale di sospensione e accorpamento dei due Enti nel neo costituito "Centro Tecnico Logistico Interforze N.B.C., le cui funzioni assorbono e ampliano quelle dei due Enti precedenti.

Nel corso degli anni la struttura presso il lago di Vico ha cambiato più volte denominazione, come di seguito riportato:

- dal 1931: "Centro Chimico Militare";
- dal 1945: "Deposito Materiale Chimico";
- dal 1950: "Deposito per artifizi e munizionamento a caricamento";

- dal 1970: “Magazzino Materiale di Difesa A.B.C.”;
- dal 1980: “Magazzino Materiale di Difesa N.B.C.”.

3.3.2 Stato attuale delle strutture

All'interno dell'area ex Magazzino materiali difesa N.B.C. sono ancora presenti strutture in c.a. e/o in muratura, alcune in buono stato, altre strutturalmente compromesse o diroccate. Tutti gli edifici sono contrassegnati da un numero (Tavola 2 e Figura 12) riferito ad un sistema di numerazione progressivo crescente da ovest verso est, da 1 a 26, concorde con il verso originale di percorrenza (in entrata) della viabilità interna; originariamente, infatti, l'ingresso principale all'area era ubicato in posizione opposta rispetto all'attuale.



Figura 12 – Vista da ovest dell'edificio n 12, adibito a magazzino e officina; nel circoletto rosso è evidenziata la numerazione interna, ancora oggi visibile

Nella porzione sommitale dell'area di pertinenza militare, praticamente sull'orlo calderico, si rileva la presenza dell'ex “alloggio del consegnatario”, identificato con il numero 1; tale edificio si sviluppa su due livelli fuori terra, per un'altezza complessiva di circa 10 m, e presenta una copertura a padiglione con tegole del tipo “marsigliesi”.

Seguendo la numerazione in modo crescente, lungo la salita interna che dal nucleo principale di strutture della base porta alla strada proveniente dalla località Casaletto, si ritrova l'edificio numero 2, l'ex "corpo di guardia" (Figura 13), in condizioni fatiscenti; tale edificio risulta parzialmente invaso dalla vegetazione e ormai privo di copertura, completamente collassata al suo interno.

Gli edifici più importanti sono tutti ubicati nella porzione subpianeggiante del sito, immediatamente dopo la "rottura" della scarpata (cfr. par. 3.1), come di seguito descritto.



Figura 13 – Edificio n. 2 "ex corpo di guardia"

Il fabbricato n. 3 (Figura 14, in alto), indicato come "laboratorio caricamento nebbiogeno", è una struttura in c.a. alta circa 10 m, con copertura piana caratterizzata da piastrelle di ceramica (presumibilmente una terrazza) e apparentemente priva del manto impermeabile. L'edificio si sviluppa su un unico livello, la tamponatura esterna è realizzata in muratura con la presenza di ampie finestre. Parallelamente al lato nord dell'edificio, ad una distanza di ca 15 m, è presente una pensilina in c.a. (fabbricato n. 26), abitualmente utilizzata per proteggere dagli agenti atmosferici le cisterne fuori terra per il fosforo, ovviamente non più presenti.

Il fabbricato n. 4 (Figura 14, in basso) è l'edificio di maggiore importanza della base, sia come dimensioni, sia operativamente; denominato "laboratorio caricamento al fosforo", è una

struttura in c.a. alta circa 15 m che presenta, come l'edificio adiacente, una copertura piana realizzata con piastrelle di ceramica e priva del manto di copertura impermeabile. L'edificio si sviluppa su tre livelli:

- un piano interrato (Figura 15-A), destinato a locale caldaie, all'interno del quale erano presenti anche cisterne di stoccaggio degli oli combustibili e vani per lo stoccaggio di materiali differenti¹; la pavimentazione è realizzata in c.l.s. si presenta ancora in buono stato ma non si è certi della presenza dello strato impermeabile posto al di sotto della stessa;
- il piano terra (Figura 15-B), è costituito da un locale, alto circa 10 m, nel quale avvenivano le fasi di caricamento e scaricamento delle bombe al fosforo; la pavimentazione è realizzata in c.l.s. e si presenta ancora in buono stato ma non si è certi della presenza dello strato impermeabile posto al di sotto della stessa; è presente un sistema di raccolta delle acque di rifiuto, costituito da un canale di raccolta che convogliava l'acqua all'interno del sistema del fognario posto all'esterno dell'edificio; da qui attraverso una scala si accede al piano rialzato in cui erano presenti i laboratori (Figura 15-C);
- il piano primo, al quale è possibile accedere sia dall'esterno che dall'interno, era adibito a dormitorio, da questo è possibile accedere all'ampia terrazza che copre parzialmente il piano rialzato.

I fabbricati dal n. 5 al n. 13, posizionati tra la strada interna principale e l'inizio del tratto ripido di pendio, presentano tutti la stessa tipologia costruttiva (Figura 12): la copertura è "a capanna", realizzata con intelaiatura in ferro al di sopra della quale sono poste piastrelle che fanno da base a un manto di tegole del tipo "marsigliesi".

Si sviluppano su un unico livello e sono normalmente privi di tramezzature interne (tranne nel locale n. 5); la tamponatura esterna è realizzata con una tessitura in mattoni a nido d'ape.

Altro edificio d'interesse è il fabbricato n. 22 ("camere calde"), all'interno del quale venivano effettuate analisi radiografiche; l'edificio si sviluppa su un unico livello realizzato con una struttura in c.a., presenta una copertura a padiglione con manto in tegole del tipo "marsigliesi"; dato lo stato e le caratteristiche, è presumibile che tale edificio sia stato realizzato in epoca relativamente recente.

Nella porzione orientale del sito sono presenti strutture di minore importanza, non rilevanti da un punto di vista strutturale né operativo (bagni, canile, pensilina parcheggio auto, ecc.); comunque tutte identificabili nella Tavola 2.

¹ Al momento di un sopralluogo nel maggio 2011 si è riscontrata la presenza di 5 fusti riportanti l'indicazione del contenuto (isotiocianato di allile)



Figura 14 – In alto, vista da NE del “laboratorio caricamento nebbiogeno” (edificio n. 3) con la pensilina di copertura delle cisterne del fosforo (n.26), attualmente rimosse; in basso, vista da E dell’ingresso dell’edificio n. 4 “laboratorio caricamento fosforo”)



Figura 15 – Interni dell’edificio n.4): A) piano terra, sala caricamento fosforo; B) locale caldaie al piano interrato; C) laboratori al piano rialzato;

3.3.3 Sistema di regimentazione delle acque

La ricostruzione del sistema fognario presente all'interno dell'area di interesse è risultata particolarmente laboriosa in quanto non è stato possibile reperire documentazione tecnica riguardante i tracciati e i sistemi di canalizzazione.

Al fine di una corretta ricostruzione del sistema, ci si è avvalsi delle memorie storiche del personale militare e civile che ha operato all'interno dell'area militare prima che questa fosse dismessa, cercando riscontri visivi dove possibile con i sopralluoghi svolti in situ.

Sulla base di quanto verificato è lecito asserire che, durante la sua attività documentabile, nella base non era presente una vera e propria fognatura intesa come insieme di canalizzazioni e opere idrauliche per la gestione delle acque, sia meteoriche che di rifiuto; si è riscontrata, piuttosto, la presenza di opere di limitata estensione e specifiche funzionalità, come di seguito sintetizzato.

Gli edifici dal 5 al 13 risultano dotati di canali di gronda e discendenti per il convogliamento delle acque meteoriche le quali venivano allontanate per dispersione, non essendo presente alcun sistema di collettamento delle acque all'interno di una rete fognaria; non vi è traccia, inoltre, di fogne per lo scarico delle acque di rifiuto. Tale mancanza è attribuibile al fatto che la maggior parte dei suddetti edifici erano presumibilmente adibiti a magazzino di stoccaggio.

Discorso a parte va fatto per l'edificio n. 4, destinato a laboratorio per il caricamento delle bombe al fosforo e in parte a dormitorio. La specifica lavorazione del fosforo che vi aveva luogo ("in umido", per evitare il rischio di incendi) spiega la presenza di un canale interrato (Tavola 2), ancora oggi ispezionabile e di lunghezza pari a circa 65 m, per l'allontanamento e la dispersione a suolo dei grossi volumi di acqua di rifiuto prodotti.

Il canale presenta una struttura a volta completamente ispezionabile (Figura 16); sulla base della posizione dei vicini tombini (rilevati in numero di 3 e ubicati sulla Tavola 2), è ipotizzabile che esso si diriga verso nord e termini il suo percorso con una non meglio definita opera "a dispersione".

Nella zona nord-orientale del sito, è possibile verificare la presenza di un pozzo-vasca a dispersione ("pozzo nero" sulla cartografia SO.IN.G.), parzialmente coperto da una lamiera metallica, segnalato da picchetti e caratterizzato dalla presenza di una tubazione di scarico in PVC (Figura 17); sebbene non si sia riusciti ad intercettare e quindi a ricostruire la rete o il singolo canale che colletta le acque reflue all'interno dello stesso, si può ipotizzare (anche sulla base delle riprese fotografiche storiche, cfr. par. 3.3.4) che:

- l'opera sia al servizio dei vicini edifici 15 ("WC"), 16 ("deposito carburante") e 17 ("ufficio del consegnatario");
- esista una struttura analoga ad una distanza di circa 80 m in direzione est (non verificata).

Al momento del sopralluogo la vasca risulta parzialmente occupata da rifiuti di varia natura (lampade esauste al Neon, materiali ferrosi, ecc.), come illustrato di seguito.



Figura 16 – Accesso al canale interrato antistante l'edificio n.4

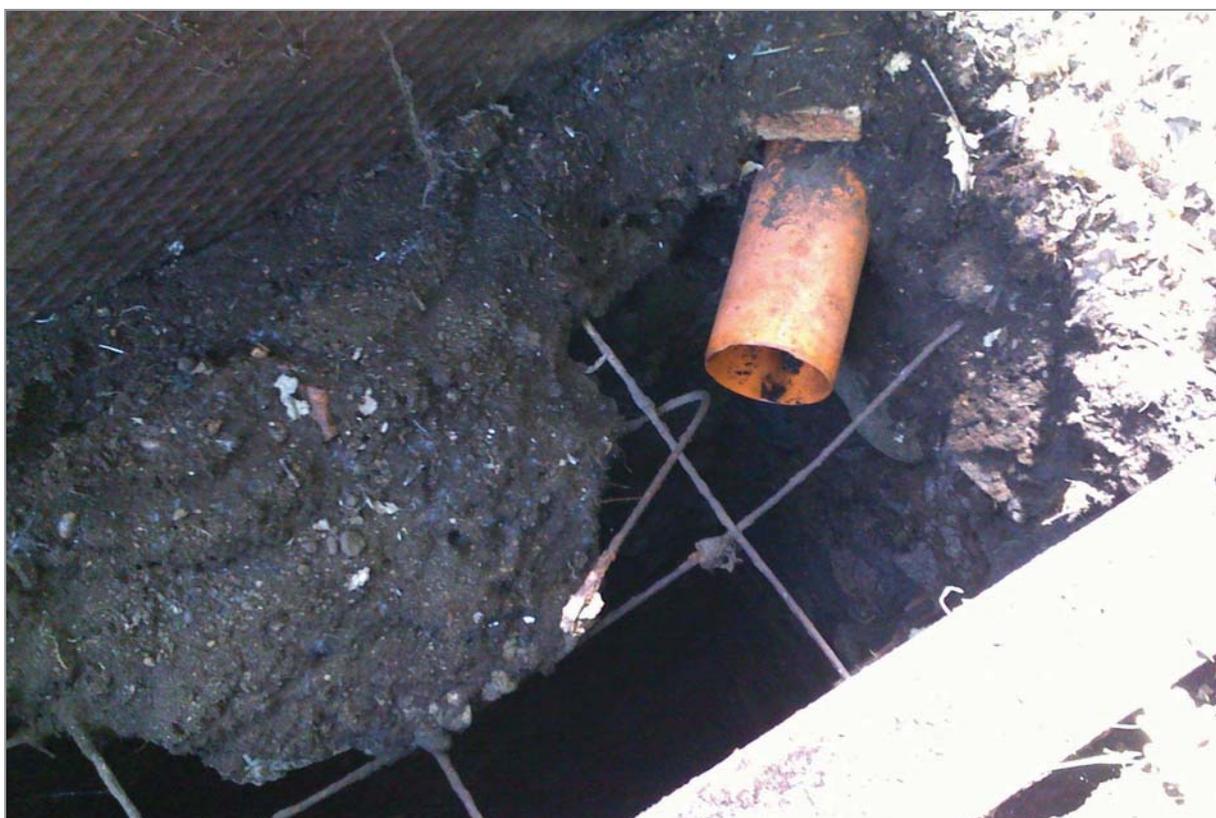


Figura 17 – Particolare dello scarico all'interno del "pozzo nero"

3.3.4 Interpretazione di aerofoto storiche

Per supportare la ricostruzione delle attività svolte presso il sito e dell'evoluzione delle strutture sono stati ricercati, tra l'altro, documenti fotografici storici risalenti a periodi in cui il centro risulta essere stato operativo.

Particolarmente interessanti per le finalità dello studio sono risultate tre stampe su carta di aerofoto in b/n, in discreto stato di conservazione, relative a rilievi effettuati nel novembre 1935 (abbozzi n. 8 e n. 11) e nel dicembre dello stesso anno (abbozzo n. 6), reperite e acquisite presso l'Archivio di Stato di Viterbo.

Le riprese in questione fanno parte presumibilmente dello storico primo rilievo delle mappe catastali con metodo aerofotogrammetrico messo a punto dalla S.A.R.A. (Società per Azioni Rilievi Aerofotogrammetrici) dei fratelli Nistri, attiva tra il 1921 e l'ultimo evento bellico.

Per quanto le immagini risultino danneggiate, coprono solo parzialmente l'area di interesse e non siano rettifiche (non è nota la quota di ripresa né la focale della camera utilizzata), un buon numero di riconoscibili punti di controllo a terra ha consentito l'elaborazione di due "basi" minimamente deformate (zona Ovest e zona Est), nonché la georeferenziazione e la sovrapposizione con la più recente ortofoto prodotta dalla regione Lazio (Figura 18).

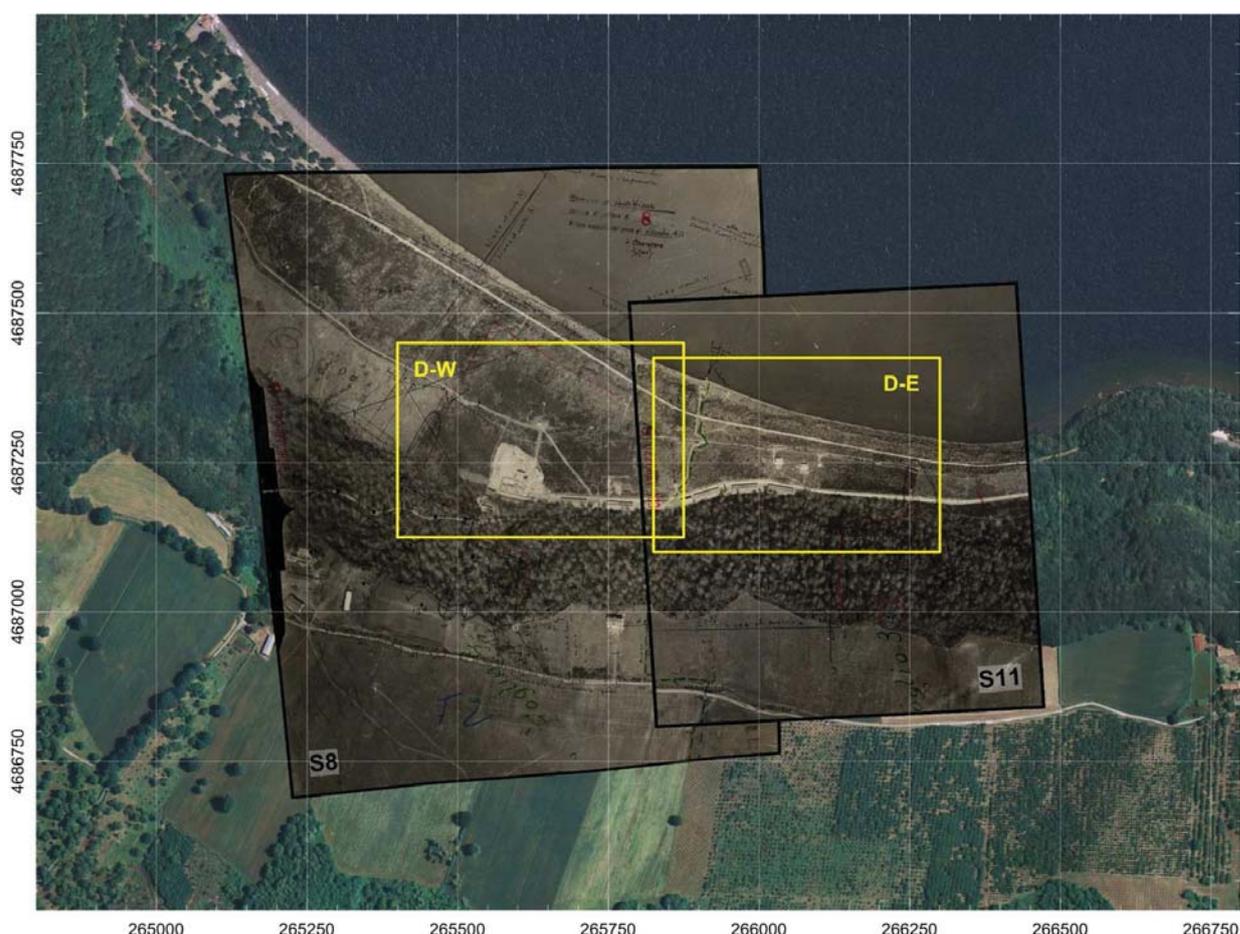


Figura 18 – Sovrapposizione su ortofoto 2005 (a colori sullo sfondo) degli stralci ovest (S8) ed est (S11) ricavati dalla rettificazione delle foto aeree del 1935; in giallo i riquadri di dettaglio; reticolo UTM 33 ED50 di maglia 250 m

Il confronto visivo tra la situazione del 1935 e quella “attuale”, limitatamente ai riquadri di dettaglio evidenziati in figura, porta alle considerazioni di seguito sintetizzate.

Come evidente in Figura 19 e in Figura 21, nel novembre del 1935 la base non ha ancora assunto il suo assetto definitivo; risulta in costruzione, in particolare, l’edificio di maggiore importanza, il “laboratorio caricamento al fosforo” n. 4 (sono visibili i pilastri del piano terra di Figura 15).

L’edificio in questione risulta impostato su un importante rilevato, (area “R” in arancione nella Figura 20) di estensione stimabile in 8000 m², il cui limite settentrionale coincide esattamente con la discontinuità morfologica identificata in fase di sopralluogo.

Si può ipotizzare per analogia che il contiguo edificio “laboratorio caricamento nebbiogeno” n. 3, al momento della ripresa aerea non ancora edificato, sia anch’esso stato impostato su un rilevato artificiale appositamente messo in posto, esteso fino alla suddetta scarpata di terrazzo (corrispondente in Figura 20 alla linea degli alberi posta sull’estensione a est del limite nord dell’area R).

Tutta l’area compresa all’interno della recinzione è nel 1935 caratterizzata dalla presenza di una vegetazione a basso fusto, prevalentemente arbustiva, che sembra naturale e non risultato di disboscamento, e che si estende con continuità sia in direzione del lago, fino alla riva, sia lateralmente; lo “stacco” con il passaggio a bosco avviene solo in corrispondenza della rottura del pendio, ovvero all’altezza della linea dei capannoni.

Le strutture contrassegnate dai numeri 2 (“ex corpo di guardia”), 5, 7 e 8 (magazzini) risultano già edificate nella ripresa più datata, mentre non c’è traccia dell’edificio 22 “camere calde”, realizzato effettivamente solo molto tempo dopo; nella ripresa del 1935 è presente tuttavia un piccolo fabbricato (E), di cui attualmente non c’è traccia, che sembra connesso ad una struttura (S) non identificata (un ricovero, servizi o, probabilmente, un pozzo nero).

La viabilità principale originale coincide con quella attuale sia per quanto concerne la strada di collegamento dei capannoni sia per la rampa (R1) che, a partire dal piazzale compreso tra gli edifici 5 e 7, si inoltra nel bosco costeggiando il fabbricato 2.

Risulta nettamente differente, invece, la viabilità interna secondaria, caratterizzata dalla originaria presenza di tracciati probabilmente al servizio del cantiere (V5 e V6), o di comunicazione interna (V3).

Si sottolinea che ad un tratto limitato di V6 corrisponde l’anomalia A4 evidenziata dalla geofisica di SO.IN.G.

Di particolare importanza è il camminamento V1, che attraversa a mezza costa l’intero sito da Est a Ovest, sembra proseguire oltre i confini dello stesso in direzione Ovest (Figura 18) e costituisce, tra l’altro, un plausibile collegamento con l’area del “canalone interrato”.

Per quanto riguarda l’area rappresentata in Figura 19, l’unico accesso diretto al lago nell’inverno del 1935 è costituito dalla traccia V2, all’apparenza non particolarmente praticata.

Il dettaglio più importante che si coglie confrontando la Figura 21 (area Est, anno 1935) e la Figura 22 (area Est, anno 2005) è l’originaria presenza di un’importante via d’accesso diretto al lago (V7), ora scomparsa: il tracciato parte dal piazzale compreso tra i magazzini 8 e 9, attraversa con una curva a “V” il camminamento V1 e prosegue fino alla presa della

conduttura per l'acqua (di cui è evidente il basamento in cemento), in prossimità dell'edificio PL, ancora esistente sebbene non visibile nell'ortofoto recente.

La prima parte del tracciato di V7, peraltro, corrisponde bene all'anomalia A2 evidenziata dalla geofisica di SO.IN.G.

Come evidente in Figura 21, al novembre del 1935 nella parte orientale dell'area risultano già edificate tutte le strutture attualmente visibili, con le eccezioni del "magazzino materiali" (edificio n. 13), del corpo di guardia" (14) e dell'"ex canile" (25).

In prossimità degli edifici 17 ("Ufficio del consegnatario") e 15 ("WC") la ripresa del 1935 mostra la presenza di due probabili pozzi neri o vasche (PN1 e PN2), di cui solo il primo, peraltro parzialmente riempito di rifiuti, è ancora presente (Figura 17 a pag. 28).



Figura 19 – Dettaglio Ovest (D-W) – Aerofoto rettificata e georeferenziata ripresa nel novembre 1935



Figura 20 – Dettaglio Ovest (D-W) – Ortofoto regione Lazio del 2005



Figura 21 – Dettaglio Est (D-E) – Aerofoto rettificata e georeferenziata ripresa nel novembre 1935



Figura 22 – Dettaglio Est (D-E) – Ortofoto regione Lazio del 2005

3.3.5 Ciclo produttivo e stoccaggio materiali

Sebbene non siano disponibili documenti ufficiali relativi all'organizzazione e alle attività dello stabilimento nel periodo precedente la seconda guerra mondiale, si può ragionevolmente supporre che all'interno della struttura venissero "trattate" (modificandole, allestendole ex novo, stoccandole) munizioni a caricamento speciale (chimico): residuati del primo conflitto e/o nuovi prodotti effettivamente utilizzati dal Regio Esercito in Libia, Eritrea, Etiopia e Somalia negli anni '30.

Sulla base della documentazione storica relativa alla produzione e all'utilizzo di armamenti speciali nel corso del primo conflitto e, successivamente, negli scenari africani (Del Boca, 1996), si può ipotizzare che sul sito oggetto di studio siano stati lavorati aggressivi chimici quali iprite, fosgene e arsine.

Testimonianze attendibili confermano in particolare la produzione di fosgene e l'allestimento di munizionamento a caricamento speciale a partire dal 1931, nonché una sistematica collaborazione con l'esercito tedesco a partire dal 1940.

Dopo l'8 settembre e fino al termine del secondo conflitto mondiale la base è stata occupata e gestita esclusivamente dall'esercito tedesco. Non sono al momento disponibili informazioni attendibili relative al complesso delle attività condotte sul sito in questo periodo risultano tuttavia diffuse voci su pratiche sistematiche di occultamento di materiali pericolosi parzialmente riscontrate con i rinvenimenti di materiale bellico occorsi nelle operazioni di bonifica del recente passato. Allo stesso modo non può essere del tutto escluso l'esercizio della base per attività diverse dallo stoccaggio di aggressivi chimici e dal caricamento di ordigni a caricamento speciale.

La mancanza di informazioni attendibili si estende dal dopoguerra fino alla fine degli anni '60; a partire dai primi anni '70 le attività sono parzialmente ricostruibili grazie alla disponibilità (e alla notevole memoria) di operatori entrati allora in servizio presso l'ex Centro Tecnico Militare, direttamente intervistati.

Secondo le testimonianze dirette (relative alla storia più recente, a partire dai primi '70), le attività svolte dal personale militare e non nella base N.B.C. di Ronciglione consistevano essenzialmente in:

- caricamento di ordigni nebbiogeni;
- caricamento/scaricamento di ordigni incendiari inglesi al fosforo (attività svolta fino alla metà degli anni '80);
- deposito materiali;
- stoccaggio e demilitarizzazione di armi a caricamento chimico vecchie o abbandonate (rinvenute sul territorio nazionale).

I processi di demilitarizzazione delle vecchie armi chimiche, in particolare, prevedevano generalmente la seguente successione temporale di operazioni:

- indagini radiografiche, per la determinazione della presenza di componenti esplosive e la determinazione del tipo di aggressivo chimico;
- apertura e scaricamento dei proietti a caricamento speciale;
- neutralizzazione degli aggressivi chimici;

- decontaminazione di fusti, bombole e proietti contaminati.

Secondo quanto dichiarato dal personale del Ce.T.L.I., nella base N.B.C. del lago di Vico, per il periodo di cui si ha diretta memoria, non è mai stata lavorata l'iprite.

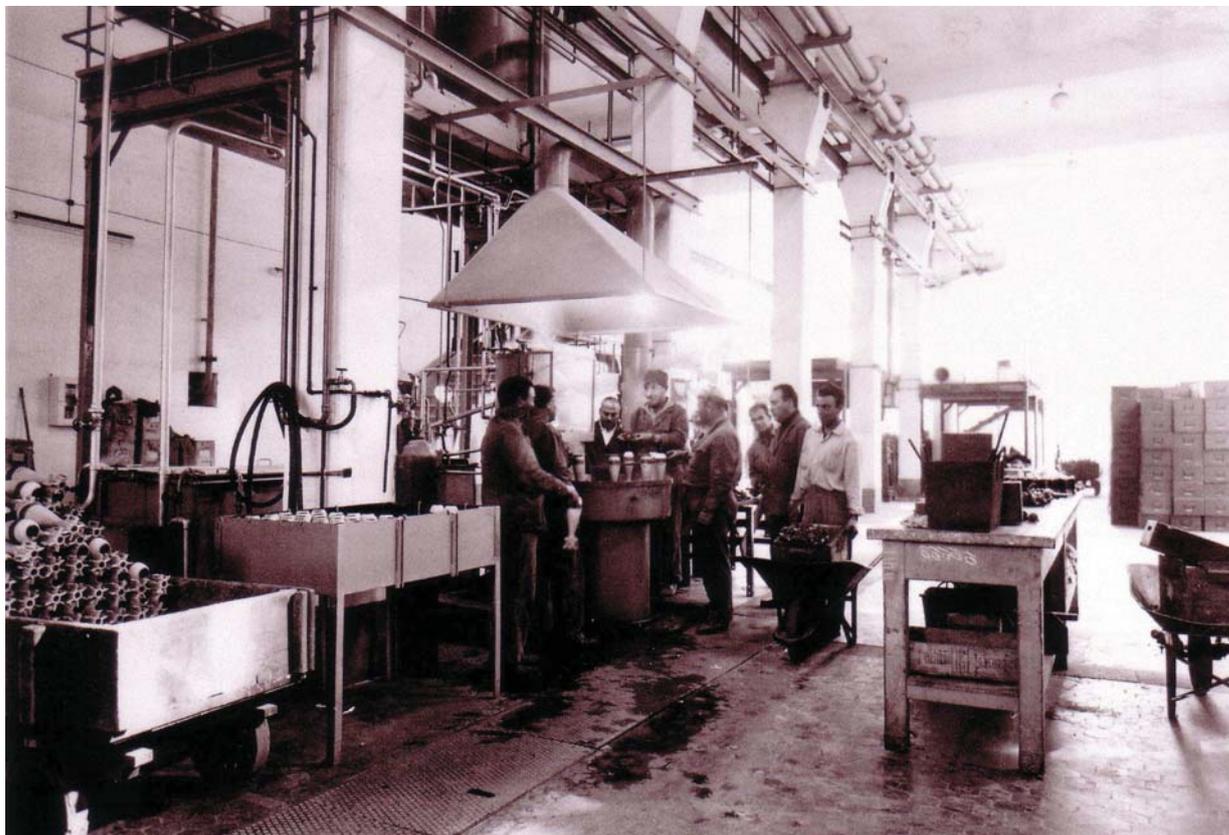


Figura 23 – Lavorazione di proietti a caricamento speciale all'interno dell'edificio n. 4.

Sulla base di documentazione fornita dalla committenza, nel 1995, al momento della dismissione del magazzino, risultavano stoccati all'interno dei suoi edifici i materiali e i relativi quantitativi riportati in Tabella 3; per l'ubicazione dei locali riportati in prima colonna si rimanda alla Tavola 2.

Nella stessa tabella, per ciascun materiale e quantitativo, si propone una stima qualitativa di massima, su una scala da 1 asterisco (minimo) a 5 (massimo), del relativo potenziale impatto ambientale: i materiali cui è attribuibile una valutazione elevata o una particolare attenzione, sono evidenziati in rosso.

Tabella 3 – Materiali e relative quantità stoccate all'interno del deposito al momento della sua dismissione (1995); stima del potenziale impatto ambientale: * = basso, *** = elevato.**

| Locale | Materiale [ev. formula] | Quantità [kg] | Note / Impatto ambientale potenziale |
|--------|--|---------------------|---|
| 3 | Siliciuro di calcio [CaSi] | 11235 | Additivo per miscele piriche di miscele fumogene e proietti traccianti (conferisce un colore rosso brillante) / * |
| 3 | Esacloroetano [C ₂ Cl ₆] | 49995 | Sostanza base nella produzione di miscele fumogene colorate; "alifatico alogenato cancerogeno" ² / ***** |
| 3 | Isosolfocianato di allile (isotiocianato di allile) [C ₄ H ₅ NS] | 1563 | Sale dell'acido solfocianico dal pungente odore di senape, probabilmente impiegato in lavorazioni (esercitazioni?) correlate all'iprite; è un potente lacrimogeno / * |
| 3 | Solfuro di allile [C ₆ H ₁₀ S] | 395 | Tioetere dal tipico odore d'aglio, probabilmente impiegato in lavorazioni (esercitazioni?) correlate all'iprite / * |
| 3 | Gelatinizzante | 974 | Non è nota la natura del materiale né la quantità / * |
| 3 | Tetracloruro di carbonio (tetraclometano, CFC10) [CCl ₄] | 13800 | Sostanza base nella produzione di miscele fumogene e/o di fosgene; "alifatico alogenato cancerogeno" ³ / ***** |
| 3 | Anidride arseniosa [As ₂ O ₃] | 2200 | Precursore di molti composti organici dell'arsenico, altamente tossico / **** |
| 3 | Arseniato di calcio [Ca ₃ As ₂ O ₈] | 700 | Solido amorfo di colore bianco, comunemente usato come pesticida e germicida, altamente tossico / **** |
| 3 | Rosso Sudan [C ₆ H ₁₂ N ₂ O, C ₂₂ H ₁₆ N ₄ O] | 37875 | Famiglia di coloranti (I, III e IV) di colore arancio-rosso, recentemente vietati dalla UE (negli alimenti) ⁴ / ** |
| 4 | Macchine utensili | 25000 | Provenienti dall'ex stabilimento di via A. Scarpa, "risultano fatiscenti ed obsolete" / * |
| 7 | Acciaio | n.a. | In verghe per lavorazioni / * |
| 7 | Ossido di zinco | 4000 | Sostanza utilizzata presumibilmente nella produzione di miscele fumogene; / ** |
| 7 | Polvere di zinco | 8500 | Sostanza utilizzata presumibilmente nella produzione di miscele fumogene; / ** |
| 7 | Polvere di marmo | 10375 | Sostanza utilizzata presumibilmente nella produzione di miscele fumogene; / * |
| 7 | Ossido di alluminio | 4198 | Sostanza utilizzata presumibilmente come additivo nella produzione di miscele fumogene; / * |
| 7 | Fiale in vetro | n.a. | Provenienti dal deposito di Scansano; risultano vuote, in numero di 920000 e "successivamente distrutte" / * |
| 8 | Legname | n.a. | Da ardere / * |
| 9 | Cloridrina solforica (acido clorosolfonico) [HSO ₃ Cl] | 132000 ⁵ | Sostanza base nella produzione di nebbiogeni; in fusti, presumibilmente in ferro e in pessimo stato (liquido molto corrosivo), che risultano (nel '95) "da travasare" / *** |
| 11 | Bombe lacrimogene | n.a. | Risultano in numero di 13546, presumibilmente caricate a gas CN (cloroacetofenone, C ₈ H ₇ ClO) e "demilitarizzate" / * |
| 11 | Fusti tipo "D" | n.a. | Risultano in numero di 123, nuovi e vuoti; per le caratteristiche e l'utilizzo si rimanda a fondo pagina / * |

² Nel dataBase IRIS dell'U.S. E.P.A. è definito "likely to be carcinogenic to human"

³ Nel dataBase IRIS dell'U.S. E.P.A. è classificato "C, possible human carcinogen"

⁴ La IARC classifica le sostanze Sudan I, III e IV nel "Group 3: not classifiable as to carcinogenicity in humans"

⁵ Stima ottenuta dividendo per due il quantitativo totale di Cloridrina solforica (264000 kg) dichiarato nella documentazione del 1995; a tale data la sostanza risultava stoccata sia nel locale n°9 che nel locale n°13

| Locale | Materiale [ev. formula] | Quantità [kg] | Note / Impatto ambientale potenziale |
|--------|---|--------------------|---|
| 11 | Bengalotti USA | n.a. | Cartucce per inneschi a tamburo di lanciafiamme, accendibili per sfregamento e "a base di magnesio" / * |
| 12 | Rottami di ferro | 82000 | Provenienti dalla rottamazione macchinari caricamento bombe; "da alienare" nel '95 / * |
| 13 | Cloridrina solforica (acido clorosolfonico) [HSO ₃ Cl] | 132000 | Sostanza base nella produzione di nebbiogeni; in fusti, presumibilmente in ferro e in pessimo stato (liquido molto corrosivo), che risultano (nel '95) "da travasare" / *** |

Secondo le testimonianze dirette raccolte, tutti gli aggressivi chimici allo stato liquido "lavorati" entro il perimetro dell'impianto, stoccati nei magazzini o ritrovati sepolti nel 1996, venivano conservati in fusti metallici ad hoc aventi le seguenti denominazioni e caratteristiche di massima:

- fusti tipo "C", di vecchia manifattura, in ferro con rivestimento interno in piombo, capacità 50 l e testa imbullonata; contenitori di questo tipo, contenenti iprite e in pessimo stato di conservazione, sono stati rinvenuti sepolti nel 1996;
- fusti tipo "H", fusti di nuova concezione, in ferro e ad alta capacità (300 l), dotati di flangia a scomparsa in pancia, utilizzati per lo stoccaggio della cloridrina solforica;
- fusti tipo "D", fusti di nuova concezione, in ferro di maggiore spessore e di media capacità (200 l), utilizzati per lo stoccaggio di aggressivi recuperati da vecchi fusti deteriorati.

3.4 Attività di bonifica bellica effettuate tra il 1995 e il 1996

Tra la fine del 1995 e il 1996 è stato rinvenuto, sepolto in un'area di limitata estensione indicata in Tavola 3, un ingente quantitativo di materiale bellico e/o correlato alle attività svolte in passato nel centro chimico; i tecnici specializzati del CeTLI hanno immediatamente provveduto alla rimozione del suddetto materiale, di cui si riporta una descrizione qualitativa, in Tabella 4, come fornita dagli stessi operatori.

Tabella 4 – Materiale rinvenuto (interrato) presso il magazzino materiali e rimosso tra il '95 e il '96

| ID | Tipo di materiale | Quantità [N°] |
|----|--|--------------------|
| 1 | Artifizi vari nebbiogeni / lacrimogeni | 410 |
| 2 | Artifizi sferici | 298 |
| 3 | Bombe a mano MK 77 WP | 513 |
| 4 | Proietti da 75 mm | 2959 |
| 5 | Proietti da 105 mm | 5 |
| 6 | Proietti da 155 mm | 146 |
| 7 | Proietti da 205 mm | 9 |
| 8 | Proietti da 305 mm | 15 |
| 9 | Bombole di vario tipo | 1775 |
| 10 | Bombole contenenti fosgene | 92 |
| 11 | Bombolette di propellente | 20 |
| 12 | Contenitori con maniglie | 6 |
| 13 | Contenitori di vetro | 3 |
| 14 | Fusti | 15 |

Alcune immagini⁶ relative ai ritrovamenti del 1995-96, contributo fotografico del Capo tec. ch. Franco Macchi (brev. D.T. bcm n. 238), già capo sezione lavorazioni speciali e bonifica, dal 1987 al 2003, presso l'ex Magazzino materiali di Difesa NBC, sono riportate di seguito.

⁶ Disponibili sul web all'URL <http://www.biografiadiunabomba.it/francomacchi.html>



Figura 24 – Materiali rinvenuti nel corso della bonifica del 1995-96: 1) Bombola di piccola capacità (120 x 1000 mm, 6 l) caricata a fosgene liquefatto; 2) fusto metallico tipo “C” per trasporto di aggressivi chimici con le caratteristiche bande colorate indicative dell’iprite; 3) bombe d’aereo italiane C25P all’iprite; 4) proietti “Livens” inertizzati; 5) bombe d’aereo italiane C25P caricate con iprite (si noti la fuoriuscita dell’aggressivo dalla coda)

Sulla base di testimonianze dirette risulta che parte degli “artefizi vari nebbigeni / lacrimogeni” fossero costituiti da “qualche decina” di “candele alla D.C.A.” (o Clark I, DA, difenilcloroarsina), aggressivo chimico irritante (starnutatorio-vomitatorio) di formula bruta $(C_6H_5)_2AsCl$ (Gagliano Candela, 2000).

Sulla base della documentazione non esaustiva acquisita si può realisticamente ipotizzare che parte degli artificzi rimossi fossero caricati ad Adamsite (o DM, difenilamminocloroarsina), aggressivo chimico irritante di formula bruta $\text{HN}(\text{C}_6\text{H}_4)_2\text{AsCl}$ (Gagliano Candela, 2000).

Successivamente alla rimozione del materiale, il programma di intervento stilato dal CeTLI nel 1996 prevedeva la “bonifica” attraverso le seguenti attività, suddivise in due fasi:

Prima fase:

- esame e accertamento del tipo di caricamento degli artificzi;
- trasporto degli stessi presso la sede di Civitavecchia per il successivo trattamento mediante l’impianto di smaltimento dell’Adamsite;
- distruzione delle bombe a mano MK 77 WP, mediante accensione in quantità limitate nel tempo (20 al giorno nell’arco di 4 ore);
- travaso degli aggressivi contenuti nelle bombole in fusti di tipo “D” e smaltimento in appositi impianti operanti presso la sede di Civitavecchia.

Seconda fase:

- esame sistematico di tutte le bombole recuperate e suddivisione in due gruppi: 1) bombole sicuramente vuote perché rotte, forate o fortemente corrose, 2) bombole ancora integre;
- recupero e accantonamento in sicurezza della “sostanza gialla” contenuta nelle bombole qualora, a seguito dell’analisi chimica, risultasse tossica e nociva;
- esame sistematico dei proietti rinvenuti allo scopo di individuare l’eventuale tipo di caricamento e di predisporre gli interventi tecnici del caso; detta indagine dovrà essere condotta anche con il concorso di un sottufficiale artificiere al fine di eseguire la apertura a mezzo carica esplosiva di alcuni campioni per ciascun tipo di proietto recuperato;
- apertura in sicurezza, mediante apposito dispositivo realizzato “ad hoc”, delle bombole integre;
- svuotamento dei proietti risultati caricati ad aggressivi chimici;
- recupero e demilitarizzazione delle sostanze rinvenute nelle bombole e nei proietti;
- bonifica interna ed esterna delle bombole e dei proietti prima di una loro alienazione.

Sebbene non si disponga di rapporti tecnici ufficiali relativi all’esecuzione delle suddette operazioni, sulla base delle testimonianze degli operatori intervistati e dei ripetuti sopralluoghi sul sito non vi è motivo di ipotizzare variazioni sostanziali delle attività effettivamente svolte.

In Figura 25 si riportano le immagini di alcune operazioni previste e svolte sul sito nel 1996, sempre tratte dalla raccolta di materiale fotografico pubblicata⁷ dal Capo tec. ch. Franco Macchi.

⁷ Disponibile sul web all’URL <http://www.biografiadiunabomba.it/francomacchi.html>



Figura 25 – Attività di bonifica svolte sul sito nel 1996: A) scaricamento e inertizzazione una bombola tedesca da 300 kg di grossa capacità (4 m x 240 mm) caricata a fosgene (95 kg di aggressivo); B) pesatura preventiva della stessa bombola condizionata a - 20°C; C) inertizzazione del materiale incendiario (fosforo) di una bomba da mortaio da 81 mm

3.5 Indagini effettuate sul sito nel 2009

Tra i mesi di luglio e dicembre 2009 sul sito oggetto di studio è stata condotta una campagna di indagini sia di tipo geofisico che di tipo diretto commissionate alla società SO.IN.G. Strutture e Ambiente S.r.l. di Livorno dall'Amministrazione della Difesa - Direzione Generale degli Armamenti Terrestri.

Tali indagini avevano lo scopo di individuare masse anomale interrato sotto i piazzali e le aree non pavimentate comprese all'interno del perimetro della base.

Per tale scopo lo studio è stato sviluppato in due fasi distinte, la prima di tipo esclusivamente geofisico e la seconda consistente in un'indagine diretta dei suoli (esecuzione di 10 sondaggi, in prossimità delle zone di anomalia geofisica individuate, prelievo di due campioni di terreno per sondaggio ed esecuzione di analisi chimico fisiche).

3.5.1 Indagini indirette

Nello specifico la campagna geofisica del 2009 ha interessato tre aree principali distinte (A, B e C), nonché una quarta (D) logisticamente impervia e caratterizzata da roccia affiorante, per l'ubicazione delle quali si rimanda alla Tavola 3; la campagna ha previsto la sovrapposizione delle seguenti cinque metodiche di indagine:

- magnetometrica (MAG), in grado di indagare fino a 6 m di profondità e avente come obiettivo la misura di anomalie del parametro "susceptività magnetica" generate da oggetti o discontinuità ferromagnetiche;
- elettromagnetica per induzione in dominio di frequenza (FDEM), in grado di indagare fino a 6 m e consistente nel generare, in ogni stazione di misura, un campo elettromagnetico (primario) per mezzo di una delle due bobine componenti la strumentazione, e nel registrare (con la seconda bobina posta in ricezione) la risposta del campo magnetico secondario indotto nel terreno nelle due sue componenti in fase e in quadratura;
- geoelettrica in continuo (ARP), Automatic Resistivity Profiling®, in grado di indagare fino a 2 m, utilizzata per una rapida mappatura (in modalità continua) delle variazioni di resistività elettrica del suolo, in aggiunta ai metodi magnetici ed elettromagnetici e con lo scopo di aumentare, in particolari zone, il dettaglio relativo alla risposta elettrica del terreno nei primi due metri di spessore (al fine di identificare eventuali porzioni corticali di terreno rimaneggiato o di riporto);
- georadar (GRP), su 17 sottoaree di estensione limitata, in grado di indagare fino a 6 m e basato sulla riflessione di onde elettromagnetiche di brevissima durata (nanosecondi), particolarmente indicato per il rilevamento di sottoservizi;
- elettrica tomografica (ERT), fino a 14 m, che attraverso misure di resistività elettrica permette di ricostruire il diverso comportamento dei materiali interessati ed utilizzare questa informazione per integrare indagini dirette, quali sondaggi geognostici

Un'indagine aggiuntiva di tipo radiometrico con spettrometria gamma (sulla sola area A) non ha indicato presenza di radionuclidi di origine antropica in nessuno dei 32 spettri/punti; è stato rilevato un solo picco riconducibile al noto Cesio 137 dell'incidente di Chernobyl.

3.5.2 Indagini dirette

La campagna di indagine realizzata da SO.IN.G. ha previsto l'esecuzione di 10 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo e spinti ad una profondità massima di 5 m; tali attività, concentrate in prossimità delle anomalie evidenziate dalle indagini geofisiche, hanno permesso di definire una stratigrafia di dettaglio dei primi cinque metri di terreno, nonché di verificarne il livello di contaminazione in corrispondenza di due livelli (approssimativamente ad un metro e a quattro metri di profondità).

La stratigrafia di massima risultante dai sondaggi prevede, in ordine temporale di messa in posto, i seguenti litotipi (dal più recente):

- coltre pedogenizzata di spessore decimetrico;
- depositi incoerenti di origine vulcanica contenenti ciottoli di varia pezzatura;
- sabbie vulcaniche di colore grigio-nero (rilevate solo nei sondaggi S6 e S7)

L'ubicazione dei sondaggi è riportata sulla Tavola 3; sulla base del confronto con la foto aerea del 1935 si può affermare che il sondaggio S8 è stato realizzato con buona probabilità sul rilevato artificiale evidente nel documento storico fotografico e che lo spessore di tale riporto è di almeno 2 m.

Sui 20 campioni complessivamente prelevati (2 per ciascun sondaggio) sono stati determinati i parametri elencati in Tabella 5; sul solo campione S5/A sono state effettuate determinazioni aggiuntive dei parametri TCE e IPA, a seguito della verificata anomalia del parametro "Screening HRGC/LRMS".

Si sottolinea che la definizione del particolare set analitico del 2009, come premesso dalla stessa società che ne ha pianificato l'esecuzione, costituisce un "protocollo di tipo conoscitivo mirato alla ricerca di specifici contaminanti... (omissis) la cui presenza in concentrazioni superiori a quelle caratteristiche del luogo (concentrazioni valutate analizzando un bianco opportunamente scelto) potrebbe far presupporre una contaminazione da armi chimiche".

Il protocollo analitico applicato, pertanto, costituisce un buono strumento conoscitivo preliminare per le aree indagate ma non può ritenersi esaustivo nei termini degli obiettivi di una caratterizzazione ai sensi del D.Lgs 152/2006.

Tabella 5 – Parametri determinati sui campioni di terreno prelevati nel 2009 e metodiche applicate; LR = limite di rilevabilità della metodica; * = metodica non accreditata; ** = parametri ricercati sul solo campione S5/A

| Parametro | UdM | LR | Metodica applicata |
|-------------------------------|------------|-----|---------------------------------------|
| Scheletro | % s.s. | 0.1 | DM 185/99 GU n° 248 21/10/99 Met II.1 |
| Residuo secco a 105 °C | % | 0.1 | CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984 |
| Cloruri (ione cloruro) | mg/kg s.s. | 1 | DM 185/99 GU n° 248 21/10/99 Met IV.2 |
| Solfati (ione solfato) | mg/kg s.s. | 1 | DM 185/99 GU n° 248 21/10/99 Met IV.2 |
| Cianuri liberi (ione cianuro) | mg/kg s.s. | 0.1 | EPA 9013A 2004 + EPA 9014 1996 |
| Fosforo totale (come P) | mg/kg s.s. | 1 | EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007 |

| Parametro | UdM | LR | Metodica applicata |
|------------------------------------|------------|-------|---|
| Idrocarburi | | | |
| Idrocarburi leggeri (C < 12) | mg/kg s.s. | 1 | EPA 5021A 2003 + EPA 8015D 2003 |
| Idrocarburi pesanti (C > 12) | mg/kg s.s. | 5 | ISO 16703:2004 * |
| Composti organici aromatici | | | |
| Benzene | mg/kg s.s. | 0.005 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 |
| Etilbenzene (A) | mg/kg s.s. | 0.005 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 |
| Stirene (B) | mg/kg s.s. | 0.005 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 |
| Toluene (C) | mg/kg s.s. | 0.005 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 |
| Xilene (D) | mg/kg s.s. | 0.005 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 |
| Sommatoria A, B, C, D | mg/kg s.s. | 0.005 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 |
| Metalli | | | |
| Alluminio | mg/kg s.s. | 0.5 | EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007 |
| Arsenico | mg/kg s.s. | 1 | EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007 |
| Magnesio | mg/kg s.s. | 1 | EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007 |
| Zinco | mg/kg s.s. | 0.5 | EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007 |
| Zolfo | mg/kg s.s. | 10 | EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007 * |
| Altre sostanze | | | |
| Solventi organici alogenati | mg/kg s.s. | 0.001 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 |
| Screening HRGC/LRMS vol/sem. | mg/kg s.s. | 0.1 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 + EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 * |
| Tetracloroetilene (PCE) | mg/kg s.s. | 0.005 | EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006 ** |
| Fenantrene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Antracene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Fluorantene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Pirene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Benzo(a)antracene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Crisene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Benzo(b)fluorantene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Benzo(k)fluorantene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Benzo(a)pirene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Indeno(1,2,3-cd)pirene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |
| Benzo(g,h,i)perilene | mg/kg s.s. | 0.01 | EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007 ** |

Il confronto dei risultati delle analisi con le concentrazioni soglia di rischio (CSC) per i "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale", riportate nell'Allegato 2 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06 (Tabella 1, colonna A) ha evidenziato le seguenti non conformità:

- nel sondaggio S1: superamento della CSC per il solo parametro Arsenico su entrambi gli orizzonti indagati (campioni S1/A e S1/B);
- nel sondaggio S5: superamento delle CSC per i parametri Arsenico, Zinco, PCE, Benzo(a)pirene, Indeno(1,2,3-cd)pirene, Benzo(g,h,i)perilene sul campione meno profondo (S5/A, da 0.30 a 0.50 m di profondità).

In tabella Tabella 6 si riportano i risultati delle analisi per tutti i parametri determinati sui campioni dei sondaggi S1 e S5, nonché sul campione “di bianco”.

Per quanto riguarda il campione di bianco si osserva che la posizione di prelievo (area boschiva, coordinate UTM 33 ED50: E266450, N4687044), la profondità (tra 0.3 e 0.4 m da p.c.) e alcune caratteristiche fisiche (basso scheletro) e chimiche (presenza di idrocarburi pesanti), ne rendono discutibile la rappresentatività.

Tabella 6 – Risultati delle analisi sui campioni di terreno S1/A, S1/B, S5/A e S5/B e confronto con le CSC colonna A (in rosso i superamenti del riferimento normativo)

| Parametro | UdM | S1/A | S1/B | S5/A | S5/B | BIANCO | CSC |
|------------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|---------|---------|------------|
| Scheletro | % s.s. | 34.9 | 35 | 32.2 | 45.3 | 24.6 | na |
| Residuo secco a 105 °C | % | 92.4 | 79.3 | 91.6 | 91.5 | 87.5 | na |
| Cloruri (ione cloruro) | mg/kg s.s. | 1 | 3 | 6 | 5 | 7 | na |
| Solfati (ione solfato) | mg/kg s.s. | 3 | 41 | 95 | 76 | 12 | na |
| Cianuri liberi (ione cianuro) | mg/kg s.s. | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 |
| Fosforo totale (come P) | mg/kg s.s. | 679 | 666 | 462 | 358 | 345 | na |
| Idrocarburi | | | | | | | |
| Idrocarburi leggeri (C < 12) | mg/kg s.s. | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 10 |
| Idrocarburi pesanti (C > 12) | mg/kg s.s. | 8 | < 5 | 23 | < 5 | 13 | 50 |
| Composti organici aromatici | | | | | | | |
| Benzene | mg/kg s.s. | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 0.1 |
| Etilbenzene (A) | mg/kg s.s. | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 0.5 |
| Stirene (B) | mg/kg s.s. | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 0.5 |
| Toluene (C) | mg/kg s.s. | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 0.5 |
| Xilene (D) | mg/kg s.s. | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 0.5 |
| Sommatoria A, B, C, D | mg/kg s.s. | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 1 |
| Metalli | | | | | | | |
| Alluminio | mg/kg s.s. | 46005 | 76379 | 27478 | 22794 | 29828 | na |
| Arsenico | mg/kg s.s. | 70 | 71 | 27 | 12 | 17 | 20 |
| Magnesio | mg/kg s.s. | 2011 | 1395 | 2270 | 272 | 86 | na |
| Zinco | mg/kg s.s. | 50.2 | 34.7 | 258 | 9.2 | 8.8 | 150 |
| Zolfo | mg/kg s.s. | 177 | 136 | 778 | 154 | 515 | na |

| Parametro | UdM | S1/A | S1/B | S5/A | S5/B | BIANCO | CSC |
|--------------------------------|------------|---------|---------|--------------|---------|---------|----------------------|
| Altre sostanze | | | | | | | |
| Solventi organici alogenati | mg/kg s.s | < 0.001 | < 0.001 | 0.563 | < 0.001 | < 0.001 | na |
| Screening HRGC/LRMS vol/sem. | mg/kg s.s | < 0.1 | < 0.1 | 4.6 | < 0.1 | < 0.1 | na |
| Tetracloroetilene (PCE) | mg/kg s.s. | na | na | 0.6 | na | na | 0.5 |
| Fenantrene | mg/kg s.s | na | na | 0.5 | na | na | 5⁸ |
| Antracene | mg/kg s.s | na | na | 0.1 | na | na | 5⁸ |
| Fluorantene | mg/kg s.s | na | na | 0.7 | na | na | 5⁸ |
| Pirene | mg/kg s.s | na | na | 0.6 | na | na | 5 |
| Benzo(a)antracene | mg/kg s.s | na | na | 0.4 | na | na | 0.5 |
| Crisene | mg/kg s.s | na | na | 0.4 | na | na | 5 |
| Benzo(b)fluorantene | mg/kg s.s | na | na | 0.4 | na | na | 0.5 |
| Benzo(k)fluorantene | mg/kg s.s | na | na | 0.2 | na | na | 0.5 |
| Benzo(a)pirene | mg/kg s.s. | na | na | 0.3 | na | na | 0.1 |
| Indeno(1,2,3-cd)pirene | mg/kg s.s. | na | na | 0.2 | na | na | 0.1 |
| Benzo(g,h,i)perilene | mg/kg s.s. | na | na | 0.2 | na | na | 0.1 |

⁸ Istituto Superiore della Sanità, 2000-2001 - Gruppo di lavoro ANPA, ARPA Liguria, ARPA Piemonte sul sito Acna di Cengio (SV)

3.6 Destinazione d'uso dell'area e vincolistica

La Provincia di Viterbo è dotata di un P.T.P.G. (Piano Territoriale Provinciale Generale) il quale rappresenta un utile strumento di coordinamento per le diverse amministrazioni nell'ambito della pianificazione territoriale. Nello specifico è stata effettuata una ripartizione del territorio provinciale, composto da 60 comuni, in 7 ambiti più il comune capoluogo (delib. G.P. n. 311 del 28/08/2001); in particolare il Lago di Vico è inserito all'interno dell'Ambito territoriale 2 "Cimini e Lago di Vico", comprendente i comuni della Comunità Montana dei Cimini (Canepina, Caprarola, Ronciglione, Soriano nel Cimino, Vallerano, Vetralla, Vitorchiano, Capranica, Vignanello e Carbognano).

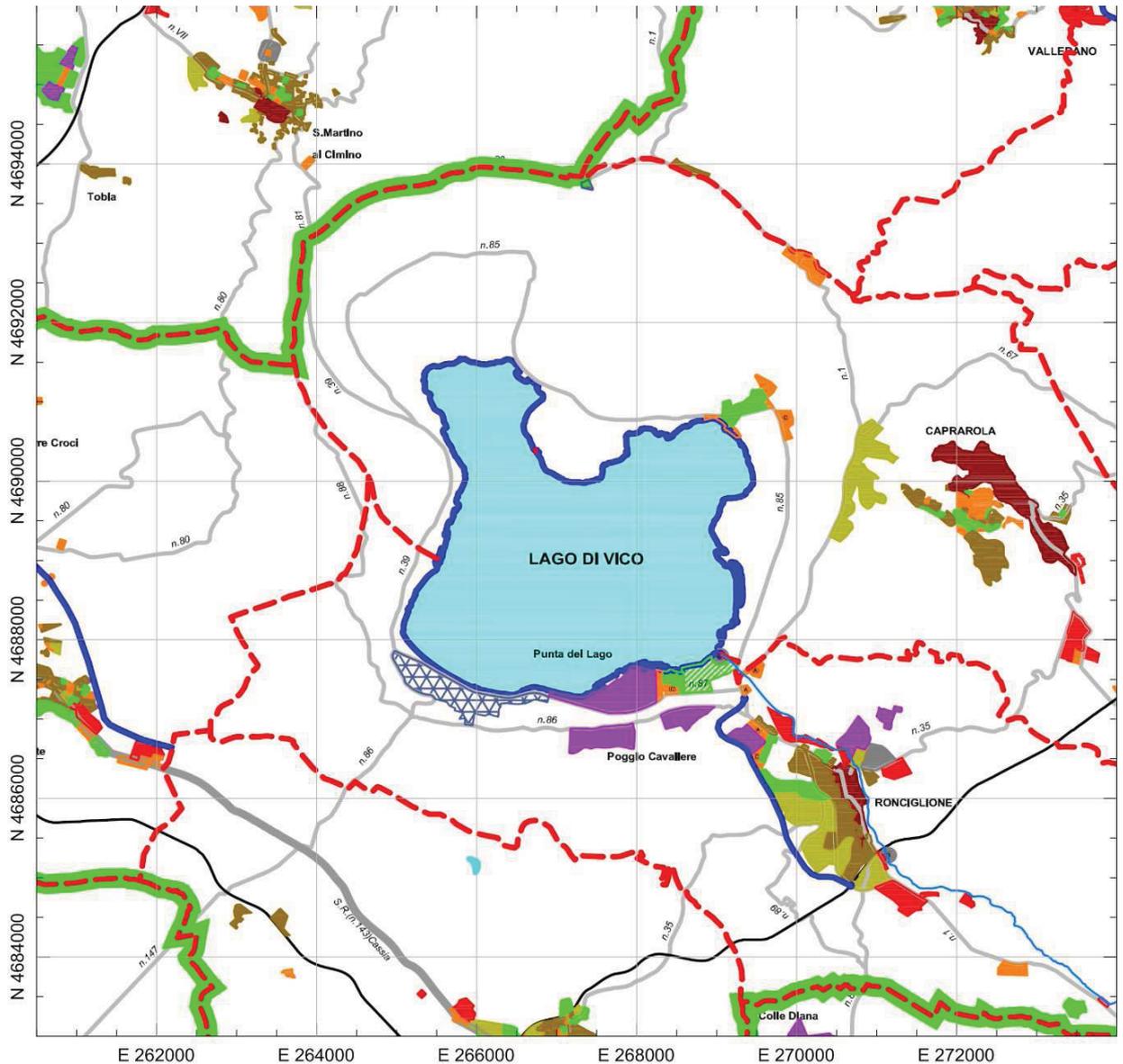
In Figura 26 si riporta uno stralcio della Tav. 3.2.1 (Mosaico Strumenti Urbanistici) del P.T.P.G. nel quale si evince, per il territorio di pertinenza del Comune di Ronciglione, la presenza dell'area militare (Magazzino Materiali Difesa NBC); per quanto identificata all'interno degli strumenti urbanistici, la zona militare di fatto non è vincolata al rispetto nelle norme in essi contenute.

Dal punto di vista della vincolistica paesaggistica si è fatto riferimento al P.T.P.R. della Regione Lazio adottato dalla Giunta Regionale con atti n. 556 del 25 luglio 2007 e n. 1025 del 21 dicembre 2007, ai sensi dell'art. 21, 22, 23 della legge regionale sul paesaggio n. 24/98, tale documento è lo strumento di pianificazione attraverso cui, nel Lazio, la Pubblica Amministrazione disciplina le modalità di governo del paesaggio, indicando le relative azioni volte alla conservazione, valorizzazione, al ripristino o alla creazione di paesaggi.

Ai fini della tutela d'uso e valorizzazione dei paesaggi (Tav. A del P.T.P.R.), l'area è individuata come "Paesaggio Naturale e Paesaggio Naturale di Continuità" e in quanto tale normata dall'artt. 21 e 23 delle N.T.A.

Ai fini della tutela delle aree tutelate per legge (Tav. B del P.T.P.R.), l'area è normata dai seguenti articoli contenuti nelle norme del P.T.P.R.

- art. 8 (Beni di insieme);
- art. 34 (Costa dei Laghi);
- art. 35 (Fascia di rispetto);
- art. 38 (Boschi).



| | | | |
|---|---|--|--|
|  | ZONA A , COMPLESSI DI INTERESSE STORICO - ARCHITETTONICO-AMBIENTALE |  | ZONA TURISTICO-RESIDENZIALE |
|  | ZONA B , COMPLETAMENTO, RECUPERO RIQUALIFICAZIONE URBANISTICA |  | VERDE PUBBLICO E PRIVATO |
|  | INSEDIAMENTI ABUSIVI |  | PARCHI NATURALI, RISERVA NATURALISTICA |
|  | PIANO DI RECUPERO |  | COMPENSORI DIREZIONALI |
|  | ZONA ESPANSIONE |  | ZONA TERMALE |
|  | ESPANSIONE IN ZONA AGRICOLA |  | VINCOLO CIMITERIALE E DEPURATORI |
|  | ZONA D , INDUSTRIALE, ARTISANALE, COMMERCIALE, IMPIANTI TECNOLOGICI |  | ZONA ESTRATTIVA |
|  | INSEDIAMENTI PRODUTTIVI SPONTANEAMENTE SORTI IN ZONA AGRICOLA |  | VIABILITA' PRINCIPALE DI PROGETTO |
|  | SERVIZI PUBBL. E PRIV., IMPIANTI SPORTIVI, PARCHEGGI, ATTREZZATURE D'USO PUBBLICO, PARCO ATTREZZATO, ALBERGHI (A), CAMPING (C), DEPURATORI (D) |  | INCROCI |
|  | NUCLEI PER SERVIZI BALNEARI ATTREZZATURE PORTUALI (P) |  | SVINGOLI |
| | |  | SERVITU' MILITARI |

Figura 26 – Stralcio scalato della Tav. 3.2.1 del P.T.P.G. della Provincia di Viterbo

4 MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE

Come riportato nell'Allegato 2 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06, il Modello Concettuale Preliminare, da elaborare prima di condurre l'attività di campo in modo da guidare la definizione del Piano di Investigazione, deve essere basato sulle informazioni storiche disponibili, nonché sui risultati di eventuali indagini condotte nel corso della normale (o straordinaria) gestione del sito.

Coerentemente con tale definizione, nei paragrafi che seguono sono descritte le caratteristiche specifiche del sito in termini di potenziali fonti della contaminazione; sulla base dei dati attualmente disponibili si è cercato altresì di definire preliminarmente caratteristiche e qualità delle matrici ambientali influenzate dalle attività svolte sul sito, nonché di identificare i potenziali percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati.

4.1 Potenziali sorgenti della contaminazione

Nel definire qualitativamente (ma conservativamente) il quadro delle potenziali sorgenti di contaminazione all'interno del sito e delle pratiche o eventi accidentali che possono averle originate, si è dovuto far fronte ad una particolare carenza di dati, dovuta sia al fatto che il sito è dismesso da tempo, sia alla tipologia delle attività (chimica militare) che in esso sono state svolte, per loro natura protette dalla divulgazione di dettagli.

A questo si aggiungano la particolarità del contesto storico-politico in cui è stato realizzato ed è stato attivo a regime (in pieno ventennio, durante le guerre coloniali), le ombre della gestione tedesca alla fine del secondo conflitto mondiale e, non ultimo, il comprensibile disordine logistico del primo dopoguerra.

Integrando i dati comunque disponibili e messi a disposizione dall'attuale gestore (relativi alla dismissione-bonifica del 1996 e alle campagne SO.IN.G. del 2009) con informazioni da fonti altrettanto verificabili (testimonianze dirette, saggi storico-tecnici, aerofoto etc.) o derivanti dai sopralluoghi effettuati a più riprese, è possibile ipotizzare 8 tipologie di potenziali sorgenti di contaminazione (PSC), sintetizzate in Tabella 7 e di seguito descritte.

Tabella 7 – Sintesi delle potenziali sorgenti di contaminazione ipotizzate per il sito oggetto di studio

| ID Sorgente | Descrizione | COCs ipotizzabili |
|-------------|--|---|
| SC-1 | Aree corrispondenti a cisterne/serbatoi del combustibile per la caldaia del laboratorio e/o del carburante per automezzi | Idrocarburi pesanti/leggeri, IPA, BTEX, Piombo |
| SC-2 | Aree/edifici adibiti a lavorazioni a rischio (caricamento/scaricamento fosforo, lavorazione fumogeni e nebbiogeni) | Alifatici clorurati (in part. Esacloroetano e Tetracloruro di Carbonio), Arsenico, Fosforo, metalli |
| SC-3 | Sistema di drenaggio degli scarichi delle lavorazioni a rischio (condotta sotterranea e area finale di dispersione) | Alifatici clorurati (in part. Esacloroetano e Tetracloruro di Carbonio), Arsenico, Fosforo, metalli |
| SC-4 | Aree prossime a pozzi neri | Alifatici clorurati (in part. Esacloroetano e Tetracloruro di Carbonio), Arsenico, Fosforo, metalli |

| ID Sorgente | Descrizione | COCs ipotizzabili |
|-------------|---|---|
| SC-5 | Edifici adibiti (nel 1996) a magazzini di materiale non pericoloso e/o rottami + aree prospicienti | Arsenico, metalli |
| SC-6 | Edifici adibiti (nel 1996) a magazzini di materiale pericoloso o ignoto + aree prospicienti | Alifatici clorurati (in part. Esacloroetano e Tetracloruro di Carbonio), Arsenico, Fosforo, metalli |
| SC-7 | Aree caratterizzate da anomalie geofisiche (materiale sepolto localizzato dalle indagini SO.IN.G. del 2009) | Arsenico, prodotti di degradazione composti organosolfurati, metalli |
| SC-8 | Cabine elettriche di trasformazione | PCBs |

- **SC-1**, Sorgenti potenziali di contaminazione corrispondenti ad aree di stoccaggio combustibili (per caldaie e gruppo elettrogeno), carburanti (per automezzi) e lubrificanti; sulla base dei dati acquisiti sono ipotizzabili come tali l'edificio 16 "deposito carburanti"(SC-1A), l'edificio n. 20 "deposito oli" (SC-1B), il seminterrato dell'edificio n. 4 "Laboratorio caricamento al fosforo" adibito a locale caldaie (SC-1C), edificio n. 24 ex gruppo elettrogeno; si ritiene opportuno verificare la presenza di idrocarburi anche all'interno e in prossimità della struttura interrata (SC-1D) identificata nella Tavola 2 della SO.IN.G. come "serbatoio gasolio", sebbene nel corso dei sopralluoghi non siano emerse conferme in tal senso (sembrerebbe trattarsi di cisterna per acqua). Alle sorgenti potenziali SC-1 sono associabili, in particolare, contaminanti quali Idrocarburi (prevalentemente pesanti), IPA e Piombo; in misura minore Idrocarburi leggeri e BTEX.
- **SC-2**, Sorgenti potenziali di contaminazione corrispondenti alle pertinenze degli edifici che risultano esser stati sede di lavorazioni "a rischio", con particolare riferimento alle operazioni di caricamento scaricamento artifici al fosforo, alla lavorazione di fumogeni e nebbiogeni: edificio 3 "laboratorio caricamento nebbiogeno" (SC2-A), edificio 4 "laboratorio caricamento al fosforo" (SC2-B), edificio 21 "Pensilina fosforo"(SC2-C), nonché i piazzali antistanti o compresi tra i suddetti edifici. Alle sorgenti potenziali SC-2 sono associabili, in particolare, contaminanti alifatici clorurati, metalli e metalloidi (Arsenico).
- **SC-3**, Sorgente potenziale correlata al sistema di drenaggio degli scarichi delle lavorazioni, costituito dalla condotta sotterranea (SC3-A) e dal suo recapito finale a dispersione (SC3-B); a tale sorgente potenziale sono associabili gli stessi contaminanti delle sorgenti SC-2;
- **SC-4**, Sorgente potenziale costituita dal pozzo nero (SC4-A) a servizio degli edifici 15, 16 e 17 e dall'eventuale (al momento non localizzata) struttura "gemella" evidente nelle foto storiche (SC-4B); data la riscontrata presenza di rifiuti vari all'interno della vasca-pozzo, a tale sorgente potenziale sono associabili gli stessi contaminanti delle sorgenti SC-2;
- **SC-5**, Sorgente potenziale di contaminazione corrispondente alle pertinenze degli edifici che risultano esser stati sede di stoccaggi di prodotti non pericolosi (additivi

inerti per la produzione di fumogeni/nebbiogeni): edificio 7 “magazzino materiali”.
Alle sorgente potenziale SC-5 sono associabili i COPCs Arsenico e Zinco.

- **SC-6**, Sorgente potenziale di contaminazione corrispondente alle pertinenze degli edifici che risultano esser stati sede di stoccaggi di prodotti pericolosi o ignoti.
- **SC-7**, Sorgenti potenziali di contaminazione corrispondenti alle anomalie evidenziate dalla campagna geofisica del 2009 (tavola 11 SO.IN.G.) ; come riportato nel par. 5.1, per tali aree è previsto, solo dopo la rimozione delle masse interrato, il prelievo di campioni di terreno rappresentativi dei fondi scavo in numero proporzionale all'estensione delle aree stesse (cfr. par. 5.2.2): sulla base delle evidenze del 2009, a tali sorgenti sono associabili principalmente contaminanti quali Arsenico, metalli e prodotti di degradazione dei composti organosolfurati.
- **SC-8**, Sorgente potenziale costituita dagli edifici (contrassegnati dal numero 6) ospitanti cabine di trasformazione di tensione e relative pertinenze areali; a tali sorgenti potenziali sono associati contaminanti quali PCBs e idrocarburi.

4.2 Definizione e caratteristiche dei potenziali COCs

I contaminanti di interesse per la caratterizzazione del sito oggetto di studio, potenzialmente rilasciati dalle sorgenti secondarie⁹ di contaminazione ipotizzate nel paragrafo precedente, sono ascrivibili alle seguenti categorie:

- **A:** materie prime utilizzate nei cicli produttivi noti o stoccate nei magazzini al momento della dismissione (esacloroetano, tetracloruro di carbonio, anidride arseniosa e arseniato di calcio, ossidi e polvere di zinco, acido clorosolfonico), e relativi prodotti di degradazione;
- **B:** aggressivi chimici presenti negli oggetti interrati, rinvenuti e rimossi o da rimuovere (iprite, fosgene, difenilamminocloroarsina (DM, "Adamsite"), difenilcloroarsina (DA, "Clark I"), e relativi prodotti di degradazione;
- **C:** composti impiegati sul sito in attività secondarie o di supporto alle principali, quali riscaldamento, trasporti, lavorazioni meccaniche e trasformazione elettrica (idrocarburi pesanti, BTEX, PCB), e relativi prodotti di degradazione.

Nei paragrafi che seguono si riassumono le principali caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti "più sito-specifici" (categorie A e B) tra quelli sopra ipotizzati, nonché il relativo comportamento ambientale di massima; per i contaminanti della categoria C, più comuni, si rimanda alla letteratura specialistica.

Identificativi, codici CAS, formule brute e di struttura dei 12 COCs selezionati, descritti nei paragrafi che seguono, sono riportate in Tabella 8.

L'ordine di esposizione corrisponde alla rilevanza quantitativa delle rispettive sorgenti potenziali primarie; le proprietà fisiche di ciascuna sostanza, desunte dal database HSDB¹⁰ (Hazardous Substances Data Bank della National Library of Medicine's (NLM)) sono tabulate nello stesso ordine utilizzato dal database ISS/ISPESL (e i rispettivi valori espressi nelle medesime unità di misura, per un confronto immediato).

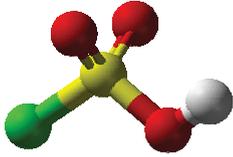
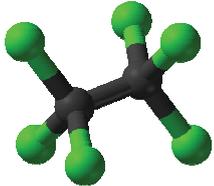
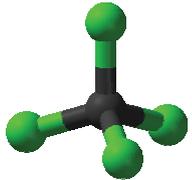
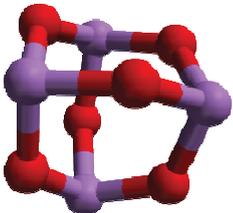
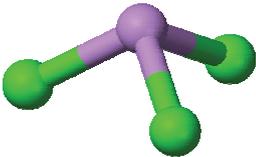
Nel riportare la valutazione complessiva di cancerogenicità della IARC ("Overall evaluation", qualora disponibile) per ciascun composto, si è fatto riferimento alla seguente scala:

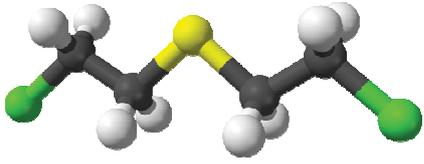
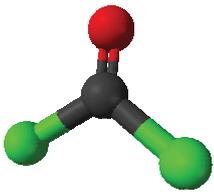
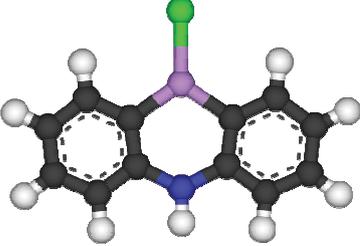
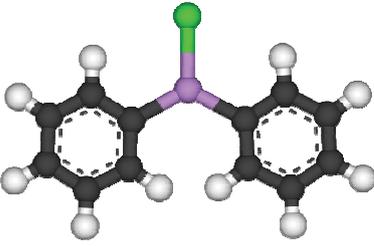
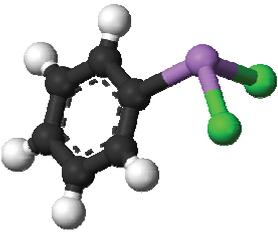
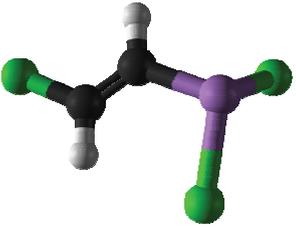
- Group 1: The agent is carcinogenic to humans.
- Group 2A: The agent is probably carcinogenic to humans.
- Group 2B: The agent is possibly carcinogenic to humans.
- Group 3: The agent is not classifiable as to its carcinogenicity to humans.
- Group 4: The agent is probably not carcinogenic to humans.

⁹ L'esecuzione delle attività di caratterizzazione descritte nel presente documento è vincolata alla rimozione di ogni sorgente primaria di contaminazione

¹⁰ HSDB è accessibile, gratuitamente, via TOXNET, all'indirizzo web: <http://toxnet.nlm.nih.gov>

Tabella 8 – Elenco dei potenziali COC considerati nel presente studio

| Nome (sinonimi) CAS#, formula | Struttura | Note |
|---|--|---|
| Acido clorosolfonico (cloridrina solforica) CAS# 7790-94-5 HSO_3Cl |  | Materia prima impiegata in processi produttivi noti; presenza accertata alla dismissione dell'impianto, quantità dichiarata pari a 264000 kg |
| Esacloroetano (percloroetano, PCA) CAS# 67-72-1 C_2Cl_6 |  | Materia prima impiegata in processi produttivi noti; presenza accertata alla dismissione dell'impianto, quantità dichiarata paria 50000 kg. |
| Tetracloruro di carbonio (tetraclorometano, Freon10) CAS# 56-23-5 CCl_4 |  | Materia prima Impiegata in processi produttivi noti; presenza accertata alla dismissione dell'impianto, quantità nota pari a 14000 kg. |
| Anidride arseniosa (triossido di diarsenico) CAS# 1327-53-3 As_2O_3 |  | Materia prima impiegata in processi produttivi noti; presenza accertata alla dismissione dell'impianto, quantità nota pari 2200 kg. |
| Arseniato di calcio CAS# 7778-44-1 $\text{Ca}_3\text{As}_2\text{O}_8$ | $3 \text{Ca}^{2+} \left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} - \text{As} - \text{O}^- \\ \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{O}^- \quad \text{O}^- \quad \text{O}^- \end{array} \right]_2$ | Impiegato in processi produttivi non noti, presenza accertata alla dismissione dell'impianto, quantità nota (700 kg) |
| Tricloruro di arsenico CAS# 7784-34-1 AsCl_3 |  | Presumibilmente impiegato nella produzione di aggressivi arsenicati; presenza ipotizzata (come materia prima impiegata in processi produttivi noti) ma non accertata |

| Nome (sinonimi) CAS#, formula | Struttura | Note |
|--|--|--|
| Iprite (gas mostarda, H) CAS# 505-60-2 $C_4H_8Cl_2S$ |  | Presenza accertata all'interno di un numero imprecisato di proiettili e/o fusti interrati rinvenuti e rimossi nel corso della bonifica del '96. Quantità non nota |
| Fosgene (cloruro di carbonile, CG) CAS# 75-44-5 $COCl_2$ |  | Presenza accertata all'interno di un numero imprecisato di bombole interrate rinvenute e rimosse nel corso della bonifica del '96. Quantità non nota |
| Difenilamminocloroarsina (Adamsite, DM) CAS# 578-94-9 $HN(C_6H_4)_2AsCl$ |  | Presenza ipotizzata all'interno di eventuali oggetti interrati da rimuovere. |
| Difenilcloroarsina (Clark I, DA) CAS# 712-48-1 $(C_6H_5)_2AsCl$ |  | Presenza accertata all'interno di un numero imprecisato di "candele" interrate rinvenute e rimosse nel corso della bonifica del '96. Quantità non nota. |
| Fenildicloroarsina (PD) CAS# 696-28-6 $C_6H_5AsCl_2$ |  | Presenza ipotizzata all'interno di eventuali oggetti interrati da rimuovere. |
| Lewisite (2-clorovinildicloroarsina) CAS# 541-25-3 |  | Presenza ipotizzata all'interno di eventuali oggetti interrati da rimuovere. |

4.2.1 Acido clorosolfonico

Nel 1995, alla dismissione dello stabilimento, risultava stoccato tra gli edifici 9 e 13 un quantitativo complessivo di 264 t di cloridrina solforica (CAS 7790-94-5, o acido clorosolfonico); si tratta di un composto inorganico acido di formula bruta HSO_3Cl , fortemente corrosivo, igroscopico e potente lacrimogeno, che reagisce violentemente con l'acqua scaldandosi e producendo una nebbia molto persistente di acido cloridrico e solforico.

Utilizzato come materia prima per la preparazione di caricamenti nebbiogeni, a temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore tendente al giallo, fumante per esposizione all'aria con colorazione bianca. Le principali caratteristiche chimico-fisiche sono riportate in Tabella 9.

Tabella 9 – Principali proprietà chimico-fisiche della cloridrina solforica (CAS 7790-94-5); fonte HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|--------|
| Peso molecolare | g / mole | 116.53 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | na |
| Pressione di vapore saturo @ 33 °C | mmHg | 1.0E-0 |
| Costante di Henry adimensionata | - | na |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | na |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | na |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 1765 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 4.02 |
| Melting point | °C | -80 |
| Boiling point @ 755 mmHg | °C | 151 |

Se rilasciata su un suolo umido, la cloridrina solforica è rapidamente idrolizzata dall'acqua ad acido cloridrico e acido solforico; date la rapidità e la violenza del processo, fenomeni di biodegradazione, adsorbimento e volatilizzazione non sono né documentati in letteratura né attesi nella pratica. In linea teorica la volatilizzazione del prodotto da suolo secco (o altre superfici in assenza d'acqua), sulla base di una pressione di vapore misurata di 0.75 mm Hg @ 20 °C, può risultare non trascurabile.

Se rilasciata direttamente in acqua, la cloridrina è rapidamente (e violentemente) idrolizzata ad acido cloridrico e solforico; fenomeni di biodegradazione, adsorbimento e volatilizzazione non sono pertanto documentabili.

Se rilasciato in aria, sulla base della sua bassa tensione di vapore, l'acido clorosolfonico tenderebbe ad esistere quasi esclusivamente in fase vapore; anche in teorica presenza di sola fase vapore, tuttavia, si possono verificare idrolisi (in presenza di umidità dell'aria, con formazione di fumi) e fotoossidazione con radicali idrossilici. La cloridrina solforica non è presente nella lista di parametri chimici dell'Allegato 5 al Titolo V, parte quarta, del D.Lgs. 152/06, né compare nella lista degli agenti classificati dall'IARC.

4.2.2 Esacloroetano

Al momento della dismissione dello stabilimento risultava stoccato all'interno dell'edificio 3 un quantitativo di 50 t di esacloroetano (CAS 67-72-1, percloroetano, PCA); si tratta di un organoalogenato di formula bruta C_2Cl_6 , utilizzato come componente principale per la preparazione di carichi fumogeni; a temperatura ambiente si presenta come solido cristallino incolore dal lieve odore di canfora.

Pochissimo solubile in acqua, risulta invece solubile in etanolo, benzene, cloroformio e molto solubile in etere dietilico e PCE. Le principali caratteristiche chimico-fisiche dell'esacloroetano sono riportate in Tabella 10.

Tabella 10 – Principali proprietà chimico-fisiche dell'esacloroetano (CAS 67-72-1); fonte HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|--|---------------------|-------------------|
| Peso molecolare | g / mole | 236.74 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | 50 |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | 4.0E-1 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 0.159 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico K _{oc} | ml / g | 1.4E+3 ÷ 2.4E+3 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log K _{ow}) | - | 4.1E+0 |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 2091 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 8.16 |
| Melting point | °C | 185 ¹¹ |
| Boiling point | °C | 186 |

Se rilasciato in aria, l'esacloroetano tende ad esistere esclusivamente come vapore; in questa fase risulta inoltre particolarmente stabile, in quanto non contiene gruppi funzionali in grado di reagire con ossidanti atmosferici quali radicali idrossilici, nitrati e ozono, né contiene cromofori in grado di assorbire lunghezze d'onda maggiori di 290 nm (quindi non risulta suscettibile alla fotolisi diretta da parte della luce solare); tipici valori di fondo nell'emisfero nord sono compresi tra 48 e 68 ng/m³.

Se rilasciato nel suolo, l'esacloroetano presenta una mobilità bassa, come prevedibile sulla base di elevati valori di K_{oc} riportati in letteratura (compresi tra 1380 ml/g e 2360 ml/g). La volatilizzazione da suolo umido è, per il COC in questione, un importante fate process, regolato da una costante di Henry medio-alta (3.89·E-03 atm·m³/mole, pari a 1.6E-01 adim.); la volatilizzazione da suoli secchi, invece, è fortemente limitata dalla bassa tensione di vapore.

L'emivita di biodegradazione aerobica dell'esacloroetano osservata su suoli sabbiosi non adattati risulta compresa tra 25 e 48 giorni.

Se rilasciato in acqua, l'esacloroetano tende ad essere adsorbito dai solidi sospesi e dai sedimenti, come prevedibile sulla base dell'elevato K_{oc}. Studi su contaminazioni di acquiferi sabbiosi poco profondi hanno evidenziato fenomeni di degradazione in condizioni

¹¹ Sublima a 186°C e 777 mmHg

anaerobiche con un'emivita indicativa di 40 giorni a 10°C, e con un path degradativo caratterizzato da un primo step, lento e microbially-mediated, di formazione di pentacloroetano, seguito da una successiva e più veloce deidroalogenazione a formare tetracloroetilene.

La volatilizzazione da superfici d'acqua libere è, per il COC in questione, un fate process importante e veloce, regolato da un valore della costante di Henry medio-alto; valori indicativi dell'emivita di volatilizzazione dell'esacloroetano restituiti da modelli previsionali di fiumi e di laghi sono pari, rispettivamente, a 2 ore e 6 giorni.

Non risultando evidenze di idrolisi a pH 3, 7 e 11 e temperatura di 85 °C, è presumibile che processi di idrolisi dell'esacloroetano in condizioni ambientali, qualora si verificano, siano particolarmente lenti.

Benché non presente nelle tabelle delle CSC dell'Allegato 5 al Titolo V, parte quarta, del D.Lgs. 152/06, l'Istituto Superiore della Sanità (Gruppo di lavoro ANPA, ARPA Liguria, ARPA Piemonte sul sito Acna di Cengio-Saliceto) ha indicato per l'esacloroetano i seguenti valori di concentrazione limite accettabili:

- Suolo/sottosuolo di aree ad uso verde pubblico, privato e residenziale: **0.5 mg/kg s.s.**
- Suolo/sottosuolo di aree ad uso commerciale e industriale: **10 mg/kg s.s.**
- Acque sotterranee: **0.05 µg/l**

Nella monografia 73 del 1999 l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha attribuito all'esacloroetano la categoria **2B**: "possibly carcinogenic to humans".

Si sottolinea che, tra i prodotti di degradazione dell'esacloroetano, il Pentacloroetano (CAS 76-01-7) è secondo l'IARC "not classifiable as to its carcinogenicity to humans" (gruppo **3**).

Il gruppo di lavoro Cengio-Saliceto ha tuttavia indicato per il pentacloroetano gli stessi valori di concentrazione limite accettabili dell'esacloroetano.

4.2.3 Tetracloruro di carbonio

Alla dismissione dello stabilimento, nel 1995, risultavano stoccate all'interno dell'edificio 3 circa 14 t di tetracloruro di carbonio (CAS 56-23-5, o tetraclorometano, o CFC10, Freon 10, Halon); si tratta di un organoalogenato di formula molecolare CCl_4 , presumibilmente utilizzato all'interno dello stabilimento come materia prima per la preparazione di candele fumogene; in particolare esso rientra nella composizione di miscele fumogene di tipo "Berger", caratterizzate dalla seguente composizione percentuale (Gagliano Candela, 2000):

Zn (metallico) : CCl_4 : ZnO : farina fossile = 25 : 50 : 20 : 5

Il tetracloruro di carbonio si presenta a temperatura ambiente come un liquido incolore e pesante, volatile, dal caratteristico odore dolciastro, avvertibile anche a basse concentrazioni, non infiammabile. Solubile in acqua, etanolo ed acetone, risulta miscibile con benzene, cloroformio, etere e nafta; le principali caratteristiche chimico-fisiche sono riportate in Tabella 11.

Tabella 11 – Principali proprietà chimico-fisiche del tetracloruro di carbonio (CAS 56-23-5); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|-------------------|
| Peso molecolare | g / mole | 153.82 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | 800 ¹² |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | 115 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 1.129 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | 71 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | 2.83 |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 1594 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 5.32 |
| Melting point | °C | -23 |
| Boiling point | °C | 77 |

Se rilasciato in aria, il tetracloruro di carbonio esiste esclusivamente come fase vapore, degradabile da reazioni con radicali idrossilici prodotti fotochimicamente (con un'emivita stimata di 366 anni). La fotolisi diretta non è importante nella troposfera, dove il tetracloruro di carbonio è considerato stabile (residence time di 30-50 anni); solo l'irradiazione a maggiori energie (195-254 nm) che si verifica nella stratosfera induce degradazione, con conseguente influenza negativa sull'equilibrio dell'ozono.

Se rilasciato nel suolo, è prevedibile che il tetracloruro di carbonio presenti un'elevata mobilità sulla base di bassi valori di K_{oc} riportati in letteratura (71 ml/g); fattori di ritardo stimati in laboratorio sono compresi tra 1.44 e 1.8.

La volatilizzazione da suolo umido è, per il COC in questione, un importante fate process, regolato da una costante di Henry elevata ($2.76 \cdot 10^{-2}$ atm·m³/mole, pari a $1.1 \cdot 10^0$ adim.); la

¹² Altre fonti indicano valori più elevati (1160 mg/l @ 25 °C)

volatilizzazione da suoli secchi è possibile comunque, favorita da una buona tensione di vapore.

Se rilasciato in acqua, il tetracloruro di carbonio tende a non essere particolarmente trattenuto per adsorbimento da solidi sospesi e sedimenti, come prevedibile sulla base del basso valore di K_{oc} . La volatilizzazione da superfici d'acqua è importante, come teoricamente indicato da un'elevata costante di Henry: valori indicativi dell'emivita di volatilizzazione restituiti da modelli previsionali di fiumi e laghi sono pari, rispettivamente, a 1.3 ore e 5 giorni. L'emivita correlata a processi di idrolisi in acqua è stimata in 7000 anni.

Studi di campo su contaminazioni di acquiferi sabbiosi hanno evidenziato fenomeni di degradazione in condizioni anaerobiche con un'emivita compresa tra 3 e 7 giorni, via organismo solfato-riduttori (due terzi di tetracloruro trasformato in cloroformio e un terzo in disolfuro di carbonio). Osservazioni su campioni di percolato in condizioni metanogeniche attestano analogamente degradazione relativamente veloce a triclorometano.

Benché non presente nelle tabelle delle CSC dell'Allegato 5 al Titolo V, parte quarta, del D.Lgs. 152/06, l'Istituto Superiore della Sanità (Gruppo di lavoro ANPA, ARPA Liguria, ARPA Piemonte sul sito Acna di Cengio-Saliceto) ha indicato per il tetracloruro di carbonio i seguenti valori di concentrazione limite accettabili:

- Suolo/sottosuolo di aree ad uso verde pubblico, privato e residenziale: **0.1 mg/kg s.s.**
- Suolo/sottosuolo di aree ad uso commerciale e industriale: **5 mg/kg s.s.**
- Acque sotterranee: **0.15 µg/l**

Si sottolinea che i suddetti limiti risultano più restrittivi (più bassi) rispetto a quelli relativi all'esacloroetano (e pentacloroetano) per quanto riguarda i terreni; tre volte più alti, invece, per quanto concerne la matrice acque sotterranee.

Nella monografia vol. 71 del 1999 l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha attribuito al tetracloruro di carbonio la categoria **2B**: "possibly carcinogenic to humans".

I valori limite accettabili di triclorometano, o cloroformio (CAS 67-66-3), indicato tra i più comuni prodotti di degradazione del tetracloruro di carbonio, previsti dall'Allegato 5 al Titolo V del D.Lgs. 152/06, risultano essere uguali a quelli sopra riportati per il prodotto-padre (coerentemente con il principio di "affinità").

Nella monografia vol. 73 del 1999 l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha attribuito al triclorometano la categoria **2B**: "possibly carcinogenic to humans".

4.2.4 Anidride arseniosa

L'anidride arseniosa (CAS 1327-53-3, o triossido di diarsenico, ossido arsenioso, arsenic trioxide), di formula bruta As_2O_3 , è il principale composto dell'arsenico (a numero di ossidazione +3), nonché precursore di molti composti organoarsenicati; alla dismissione dello stabilimento, all'interno dell'edificio 3, ne risultavano stoccati 2200 kg.

A temperatura e pressione ambiente è un solido cristallino bianco inodore che può presentare tre differenti strutture: una cubica (arsenolite), contenente triossido molecolare As_4O_6 , e due forme polimeriche (claudetiti, a cristallizzazione monoclinica o piramidale) con condivisione di atomi di ossigeno.

Solubile in acqua (17 g/l @ 16 °C), acido idroclorico, glicerolo e soluzioni alcaline, risulta praticamente insolubile in alcol, etere e cloroformio. Le principali caratteristiche chimico-fisiche dell'anidride arseniosa sono di seguito riportate.

Tabella 12 – Principali proprietà chimico-fisiche dell'anidride arseniosa (CAS 1327-53-3); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|-------------------|
| Peso molecolare | g / mole | 197.84 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | 17000 |
| Pressione di vapore saturo @ 25 °C | mmHg | 2.47E-4 |
| Costante di Henry adimensionata | - | na |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | na |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | na |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 3865 (arsenolite) |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | na |
| Melting point | °C | 274 (arsenolite) |
| Boiling point | °C | 460 |

La letteratura specifica sul destino ambientale dell'anidride arseniosa non è particolarmente ricca, a differenza di quella relativa all'elemento Arsenico, nel suo stato +3, da considerarsi quale principale indicatore di contaminazione e fonte di rischio sanitario.

Relativamente a rilasci nel suolo, è documentata¹³ l'azione di microorganismi in grado di metabolizzare il composto a derivati volatili dell'arsina, in percentuali considerevoli (17-60%) e corrispondenti ad un'emivita nel terreno di 6.5 anni.

Dal punto di vista della valutazione di cancerogenicità l'anidride arseniosa può essere inclusa nel gruppo "Arsenic & Arsenic compounds" previsto nell'aggiornamento¹⁴ delle monografie IARC del 1987, ovvero è ascrivibile alla categoria **1**: "The agent is carcinogenic to humans".

¹³ Nat'l Research Council Canada; Effects of Arsenic in the Canadian Environ p.21 (1976) NRCC No.15391

¹⁴ IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Supplement 7 (1987), Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42

4.2.5 Arseniato di calcio

L'arseniato di calcio (CAS 7778-44-1, o Calcium Arsenate), di formula bruta $\text{Ca}_3\text{As}_2\text{O}_8$, è un composto dell'arsenico (a numero di ossidazione +5), largamente utilizzato come pesticida nella prima metà del secolo scorso; alla dismissione dello stabilimento, all'interno dell'edificio 3, ne risultavano stoccati 700 kg.

In condizioni ordinarie si presenta come una polvere bianca inodore solubile in soluzioni acide e insolubile nei comuni solventi organici; a 25 °C presenta una solubilità in acqua di 130 mg/l.

Tabella 13 – Principali proprietà chimico-fisiche dell'arseniato di calcio (CAS 7778-44-1); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|----------------|
| Peso molecolare | g / mole | 398.07 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | 130 |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | 0 |
| Costante di Henry adimensionata | - | na |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | na |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | na |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 3620 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | na |
| Melting point | °C | (si decompone) |
| Boiling point | °C | na |

La letteratura specifica sul destino ambientale dell'arseniato di calcio è scarsa, se si escludono informazioni qualitative sulla persistenza (5-8 anni) nel terreno del composto usato come pesticida (in aree con scarse precipitazioni), o sulla presenza di arsenico nelle acque di dilavamento di terreni trattati con arseniato di calcio.

Dal punto di vista della valutazione di cancerogenicità l'arseniato di calcio, come l'anidride arseniosa, può essere incluso nel gruppo "Arsenic & Arsenic compounds" previsto nell'aggiornamento¹⁵ delle monografie IARC del 1987, ovvero è ascrivibile alla categoria 1: "The agent is carcinogenic to humans".

¹⁵ IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Supplement 7 (1987), Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42

4.2.6 Tricloruro di arsenico

Il tricloruro di arsenico (CAS 7784-34-1, o Arsenic trichloride), di formula bruta $AsCl_3$, è un composto dell'arsenico (a numero di ossidazione +3), probabilmente stoccato e utilizzato presso il sito oggetto di studio, sebbene non sia risultato tra le materie presenti al momento della dismissione né tra quelle contenute all'interno degli oggetti interrati rinvenuti e rimossi nel '96.

Il tricloruro di arsenico viene preparato per reazione di acido cloridrico con ossido arsenioso (andride arseniosa, di cui risultavano stoccate oltre 2 t nel magazzino 3); è indicato come indispensabile precursore nella sintesi di fenilcloroarsine e di lewisite (2-clorovini). Le principali caratteristiche chimico-fisiche del tricloruro di arsenico sono riportate in Tabella 14

Tabella 14 – Principali proprietà chimico-fisiche del tricloruro di arsenico (CAS 7784-34-1); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|------------------------------|--------|
| Peso molecolare | g / mole | 181.28 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | moli / moli H ₂ O | 1 / 9 |
| Pressione di vapore saturo @ 23.5 °C | mmHg | 10 |
| Costante di Henry adimensionata | - | na |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | na |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | na |
| Densità / Specific Gravity @ 25 °C | kg / m ³ | 2145 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 6.25 |
| Melting point | °C | -16 |
| Boiling point | °C | 130 |

Non sono disponibili in letteratura informazioni specifiche sul destino ambientale del tricloruro di arsenico.

Dal punto di vista della valutazione di cancerogenicità il composto, come l'arseniato di calcio e l'anidride arseniosa, può essere incluso nel gruppo "Arsenic & Arsenic compounds" previsto nell'aggiornamento¹⁶ delle monografie IARC del 1987, ovvero è ascrivibile alla categoria 1: "The agent is carcinogenic to humans".

¹⁶ IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Supplement 7 (1987), Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42

4.2.7 Iprite

Nel corso della bonifica bellica realizzata tra il 1995 e il 1996 risulta siano stati rinvenuti e rimossi vecchi fusti e proietti interrati contenenti iprite (cfr. par.3.4); non si può escludere che a oggetti simili siano riconducibili alcune delle anomalie evidenziate dalla geofisica nel 2009.

L'iprite (CAS 505-60-2, gas mostarda, solfuro di 2,2'-diclorodietile, "H" nella terminologia militare), è un composto di formula bruta $C_4H_8Cl_2S$, liquido al di sopra di 14 °C, inodore e trasparente se allo stato puro; se impuro presenta un caratteristico odore agliaceo pungente e appare di colore variabile da ambra a nero.

A pressione ordinaria bolle a 217°C e, in forma distillata (HD), a 224°C. Le principali caratteristiche chimico-fisiche del composto sono riportate in Tabella 15.

Tabella 15 – Principali proprietà chimico-fisiche dell'Iprite (CAS 505-60-2); modificato da HSDB e Gagliano Candela, 2000

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|--------|
| Peso molecolare | g / mole | 159.08 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | 0.684 |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | 0.072 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 0.001 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | 120 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | 2.41 |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 1274 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 5.4 |
| Melting point | °C | 14 |
| Boiling point | °C | 217 |

Se rilasciata in aria (in fase vapore, NON nebulizzata), valori di tensione di vapore compresi tra 0.11 mmHg a 25 °C e 0.07 mmHg a 20 °C indicano l'esclusiva presenza di tale fase, che risulta tuttavia degradabile attraverso reazioni con radicali idrossilici prodotti fotochimicamente (con un'emivita in aria stimata di 50 ore). La fotolisi diretta dei vapori di iprite non è un importante processo degradativo (il composto presenta una banda principale di assorbimento UV a 205 nm ed una secondaria intorno ai 280, con una coda fino a oltre 300 nm).

Rilasciata al suolo, tenuto conto di un K_{oc} medio-basso (120 ml/g), l'iprite dovrebbe risultare particolarmente mobile, e tanto più persistente al diminuire di temperatura e umidità: dati di letteratura derivanti da sperimentazioni su un'ampia gamma di suoli e condizioni ambientali indicano che la persistenza della sostanza nebulizzata al suolo è compresa tra 31 h e 51 h a 25 °C e tra 50 e 92 giorni a 0 °C (tra 14 e 56 giorni sulla neve).

La volatilizzazione dalla superficie di suoli umidi è regolata da un valore basso della costante della legge di Henry ($2.45 \cdot 10^{-5}$ atm·m³/mole); in presenza di suoli secchi, risultando basso il valore della tensione di vapore, l'iprite non volatilizza in modo significativo.

Se rilasciata in acqua, il valore medio-basso del coefficiente di partizione K_{oc} ne limita l'adsorbimento su solidi sospesi e sedimenti; la volatilizzazione da superfici d'acqua è relativamente importante, come teoricamente indicato dalla costante di Henry: valori indicativi dell'emivita di volatilizzazione restituiti da modelli previsionali di fiumi e laghi sono pari, rispettivamente, a 50 ore e 20 giorni.

Se rilasciata in acqua dolce in quantità limitate, tali consentirne la dissoluzione, l'iprite è rapidamente idrolizzata (cfr. Figura 27), con formazione di:

- emimostarda (CAS 693-30-1, mustard chlorohydrin, formula bruta C_4H_9ClOS), più solubile dell'iprite ma con simili effetti vescicanti;
- tiodiglicole (CAS 111-48-8, TDE, thiodiglycol, formula bruta $C_4H_{10}O_2S$), sostanza simile per struttura e proprietà al glicole dietilenico);
- acido cloridrico.

L'osservata persistenza ambientale del composto, nonostante l'alta velocità di idrolisi, è imputabile alla bassa velocità di solubilizzazione.

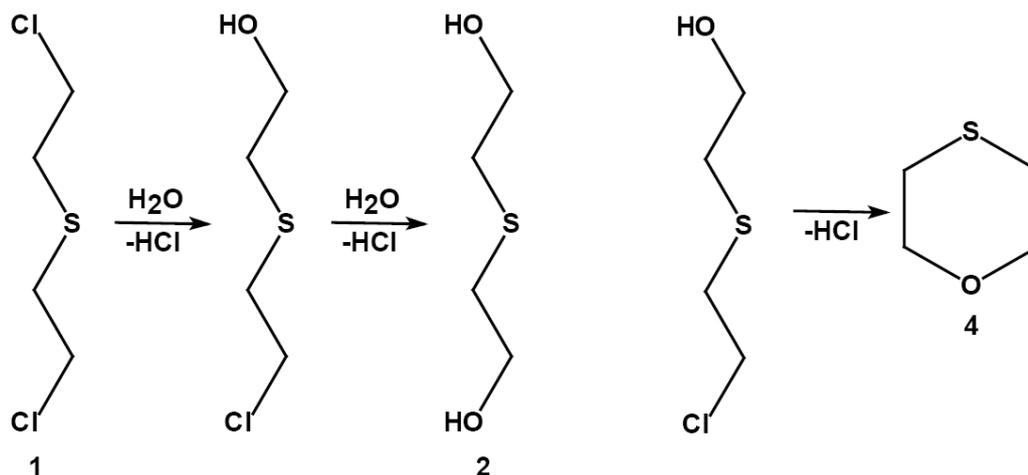


Figura 27 – Schematizzazione dei due principali meccanismi di idrolisi dell'iprite; a sinistra formazione del tiodiglicole (2) passando per l'emimostarda; a destra formazione di tiosano a partire dall'emimostarda; modificato da Tørnes et al., 2002

Sia la formazione di emimostarda a partire dall'iprite sia quella di tiodiglicole a partire dall'emimostarda avvengono attraverso la formazione intermedia di ioni solfonio (attaccati dall'acqua) e di acido cloridrico. Un'aliquota (25%) di ione solfonio può ricombinarsi con il cloro per dare 1,4-tiosano (CAS 15980-15-1, 1,4-thioxane, formula bruta C_4H_8OS) e un'ulteriore molecola di acido cloridrico; per effetto delle reazioni si verificano emissioni in aria umida di deboli vapori di acido cloridrico.

Un ulteriore path degradativo (Tørnes, 2002), che vede la molecola di iprite stessa agire da gruppo nucleofilo ed attaccare il cloruro di solfonio, porta alla formazione intermedia di sesquimostarda (CAS 3563-36-8, 1,2-bis(2-chloroethylsulfanyl)ethane) e finale di 1,4-Dithiane (CAS 505-29-3, formula bruta $C_4H_8S_2$).

In condizioni indisturbate è documentato lo sviluppo di uno strato di tiodiglicole (TDG) all'interfaccia tra l'acqua e l'iprite (H); in corrispondenza di tale interfaccia l'iprite può reagire col TDG, originando sali stabili di solfonio. Anche la Sesquimustard (Q) può formare sali che reagiscono con l'acqua, l'iprite stessa, il TDG o con altre molecole di Q, formando sali omologhi. In ogni caso i sali costituiscono uno spesso strato che riduce la velocità di idrolisi del prodotto di partenza.

Altri composti correlati alla degradazione dell'iprite sono l'1,2,5-Trithiephane e l'1,4,5-Oxadithiephane (Tørnes, 2002); in sintesi, in Figura 28, si riportano le strutture dei composti correlati all'iprite ricercati (e rilevati) nel corso di un importante studio sulla contaminazione di sedimenti marini prossimi a sorgenti di iprite (ordigni a caricamento speciale sommersi).

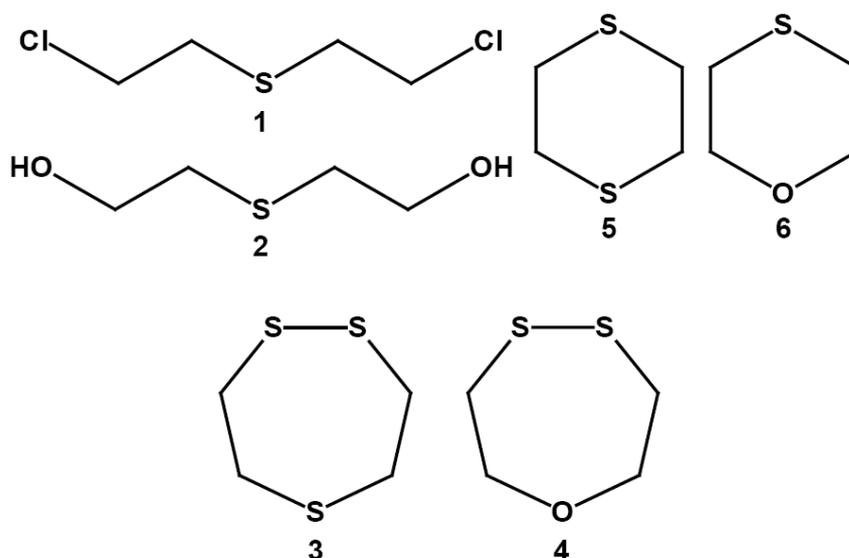


Figura 28 – Strutture di composti correlabili alla degradazione dell'iprite in ambiente acquatico: 1) iprite; 2) tiodiglicole; 3) 1,2,5-Trithiephane; 4) 1,4,5-Oxadithiephane; 5) 1,4-Dithiane; 6) 1,4-Thioxane; modificato da Tørnes et al., 2002

L'emivita dell'iprite completamente disciolta in acqua dolce a 0 °C, 25 °C e 40 °C risulta essere pari rispettivamente a 1.75 h, 4 minuti e 43 secondi.

I meccanismi dell'idrolisi in ambiente marino sono simili, ma caratterizzati da emivite maggiori, a parità di temperatura, principalmente a causa della presenza degli ioni cloro che spostano a sinistra la prima decomposizione dell'iprite (in ioni solfonio e, appunto, cloro).

In letteratura (Gagliano Candela, 2000) si riportano valori di emivita in acqua di mare di 4 h, 1.2 h e 22 minuti rispettivamente a 5 °C, 15 °C e 25 °C.

Le reazioni in acqua salata risultano pertanto molto più lente di quelle in acqua dolce, tanto più quanto minore è la temperatura, con il risultato della ben nota stabilità del prodotto sui fondali marini (con temperature, peraltro, spesso al di sotto della temperatura di fusione).

La degradazione ossidativa del contaminante non avviene in natura ma è fondamentale per le procedure di decontaminazione di ampie superfici, in quanto i prodotti risultano stabili e non pericolosi; solitamente consiste nell'utilizzo di forti ossidanti quali permanganato di potassio, acido nitrico o acqua ossigenata, e porta alla sua completa trasformazione prima in solfossido e infine in solfone.

Nell'aggiornamento (supplemento 7) alle monografie 1-42 del 1999 l'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro ha valutato ("overall evaluation") che il gas mostarda "is carcinogenic to humans (**Group 1**)"; le caratteristiche di rischio e tossicologiche dell'emimostarda (CH) sono simili a quelle del prodotto di origine.

Il tiodiglicole, che può essere considerato come principale prodotto di degradazione, è considerato un moderato irritante degli occhi e delle vie respiratorie¹⁷; in tabella si riportano le principali caratteristiche chimico-fisiche che ne condizionano il destino ambientale.

Tabella 16 – Principali proprietà chimico-fisiche del tiodiglicole (CAS 111-48-8); modificato da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|----------------------|
| Peso molecolare | g / mole | 122.19 |
| Solubilità in acqua @ 20 °C | mg / l | totalmente miscibile |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | 0.003 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 7.77E-8 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | 11 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | -0.75 |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 1179 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 4.2 |
| Melting point | °C | -10.2 |
| Boiling point | °C | 282 |

In Tabella 17 si riportano infine i valori delle proprietà chimico-fisiche dell'1,4-ditiano (1,4-Dithiane, CAS 505-29-3, formula bruta C₄H₈S₂), presente come impurità in miscele di iprite tecnica e/o prodotto della sua decomposizione.

Tabella 17 – Principali proprietà chimico-fisiche dell'1,4-ditiano (CAS 505-29-3); modificato da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|---------|
| Peso molecolare | g / mole | 120.24 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | 3000 |
| Pressione di vapore saturo @ 25 °C | mmHg | 0.80 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 1.72E-3 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | 63 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | 0.77 |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | na |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | na |
| Melting point | °C | 112.3 |
| Boiling point @ 60 mmHg | °C | 115.6 |

¹⁷ IPCS, CEC; International Chemical Safety Card on Thiodiglycol. (October 2005). Available from, as of November 16, 2006: <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics1601.htm>

4.2.8 Fosgene

Nel corso della bonifica bellica realizzata tra il 1995 e il 1996 risulta siano state rinvenute e rimosse 92 bombole interrate contenenti fosgene (cfr. par. 3.4); non si può escludere che oggetti simili siano causa di alcune delle anomalie evidenziate dalla geofisica nel 2009.

Il fosgene, o cloruro di carbonile (CAS 75-44-5, carbonyl dichloride, ossicloruro di carbonio, "CG" nella terminologia militare), è un composto di formula bruta COCl_2 , gassoso e incolore a temperatura ordinaria, dal caratteristico odore (percepibile per concentrazioni maggiori di 1.6 mg/m^3) di legno marcio o fieno in fermentazione.

In condizioni normali di pressione liquefa a $7.5 \text{ }^\circ\text{C}$ e solidifica a circa $-120 \text{ }^\circ\text{C}$, formando una massa bianca cristallina; le principali caratteristiche chimico-fisiche del composto sono riportate in Tabella 18.

Tabella 18 – Principali proprietà chimico-fisiche del fosgene (CAS 75-44-5); modificato da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|-------------------|--------|
| Peso molecolare | g / mole | 98.92 |
| Solubilità in acqua @ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ | mg / l | na |
| Pressione di vapore saturo @ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ | mmHg | 1420 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 0.695 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico K_{oc}^{18} | ml / g | 2.2 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | na |
| Densità / Specific Gravity @ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (liquid) | kg / m^3 | 1372 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 3.4 |
| Melting point | $^\circ\text{C}$ | -118 |
| Boiling point @ 760 mmHg | $^\circ\text{C}$ | 8.2 |

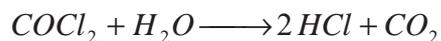
Come evidente dalla rassegna delle proprietà fisiche, il fosgene risulta essere, tra gli aggressivi chimici considerati, il meno persistente nell'ambiente, principalmente a causa della sua volatilità (tensioni di vapore del liquido pari a 889 mmHg a $13 \text{ }^\circ\text{C}$ e a 540 mmHg a $0 \text{ }^\circ\text{C}$) e dell'elevata velocità di idrolisi.

Se rilasciato in aria, l'elevata tensione di vapore (1420 mmHg a $25 \text{ }^\circ\text{C}$) indica che il fosgene esiste esclusivamente in fase gassosa, lentamente degradata in atmosfera da reazioni con radicali idrossilici prodotti fotochimicamente (con un'emivita stimata di 44 anni); non assorbe a lunghezze d'onda maggiori di 290 nm e pertanto non è soggetto a fotolisi diretta.

Rilasciato nel suolo, il fosgene presenta una (teoricamente) elevata mobilità, sulla base di un basso valore stimato di K_{oc} (2.2 ml/g); la volatilizzazione da terreni superficiali secchi è un importante percorso ambientale mentre in terreni umidi, oltre ad un'elevata volatilizzazione, si verifica una rapida idrolisi; non sono disponibili, pertanto, dati di biodegradazione.

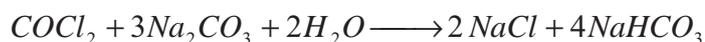
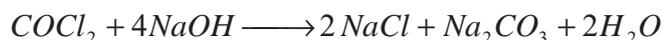
¹⁸ Stimato sulla base della struttura (Meylan WM et al; Environ Sci Technol 26: 1560-67 (1992))

Il fenomeno ambientale più importante nel caso di rilasci in acqua è la rapida idrolisi, a produrre acido cloridrico e anidride carbonica:



Da letteratura risulta, a titolo di esempio, che l'idrolisi di una soluzione acquosa all'1% di fosgene è completa in 20 secondi a 0 °C, e che reazioni altrettanto veloci si verificano in acqua di mare. Contribuiscono alla bassa persistenza di rilasci in acqua il basso valore di K_{oc} (che limita fortemente l'adsorbimento su solidi sospesi e sedimenti) e l'elevato valore della costante di Henry (che induce un'elevata velocità di volatilizzazione).

In ambienti chiusi, infine, il fosgene viene efficacemente decomposto nebulizzando sul terreno soluzioni alcaline e saponacee, che agiscono secondo le seguenti reazioni:



4.2.9 Difenilamminocloroarsina

La difenilamminocloroarsina (CAS 578-94-9, adamsite, dibenzo-1-chloro-1,4-arsenine, “DM” nella terminologia militare, fenarsazina cloridrato) è un aggressivo chimico irritante (vomitatorio) di formula bruta $\text{HN}(\text{C}_6\text{H}_4)_2\text{AsCl}$; si presenta come un solido giallo allo stato puro, giallo-verdastro se impuro. Le principali caratteristiche chimico-fisiche che ne condizionano il destino ambientale sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 19 – Proprietà chimico-fisiche della difenilamminocloroarsina (CAS 578-94-9); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|--|---------------------|---------|
| Peso molecolare | g / mole | 227.58 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | 0.65 |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | 2.0E-13 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 1.35E-6 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico K _{oc} | ml / g | 5750 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log K _{ow}) | - | 4.05 |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C (liquid) | kg / m ³ | 1650 |
| Melting point | °C | 195 |
| Boiling point @ 760 mmHg | °C | 410 |

Se rilasciata in aria, la difenilamminocloroarsina, sulla base di valori molto bassi di tensione di vapore (2E-13 mmHg @ 20 °C) e della costante di Henry adimensionata (1.35E-6), esiste esclusivamente sottoforma di particolato. Non contenendo cromofori in grado di assorbire lunghezze d’onda > 290 nm non è interessata da fotolisi diretta.

L’elevato valore di K_{oc} (5750 ml/g) la rende praticamente immobile nel caso di rilasci al suolo, né si verifica volatilizzazione da terreno, indipendentemente dall’umidità dello stesso.

Rilasciata in acqua l’adamsite viene adsorbita da solidi sospesi e sedimenti, mentre è del tutto trascurabile la volatilizzazione dalle superfici d’acqua. L’unico meccanismo degradativo naturale documentato (Tørnes et al., 2002) è una lenta (anche in acqua calda) idrolisi in condizioni alcaline, a formare l’ossido di bis-difenilamminoarsina (10,10’-Oxybis[5,10-dihydrophenarsazine], CAS 4095-45-8, formula bruta $\text{C}_{24}\text{H}_{18}\text{As}_2\text{N}_2\text{O}$); l’eventuale successiva ossidazione porta alla formazione di acido difenilamminoarsonico, (diphenylamine arsonic acid) come illustrato in Figura 29.

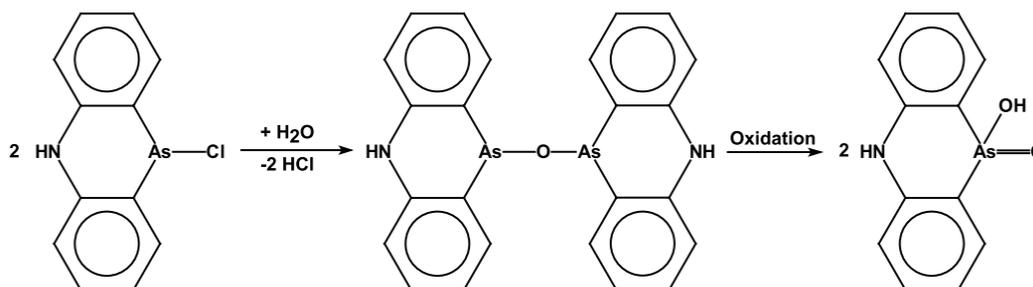


Figura 29 – Idrolisi dell’Adamsite seguita da ossidazione; modificato da Tørnes et al., 2002

Dati quantitativi su tale percorso non sono riportati in letteratura, né sono disponibili dati su (eventuali) fenomeni di biodegradazione. L'adamsite e i suoi prodotti di degradazione non risultano normati in alcun punto del D.Lgs. 152/06, né presi in considerazione dall'IARC.

4.2.10 Difenciloroarsina

La difenciloroarsina (CAS 712-48-1, diphenylchlorarsine, cloruro di difenilarsina, Clark I, "DA" nella terminologia militare) è un aggressivo chimico irritante (vomitorio) di formula bruta $(C_6H_5)_2AsCl$, caratterizzato dalle proprietà chimico-fisiche riportate nella seguente tabella.

Tabella 20 – Proprietà chimico-fisiche della difenciloroarsina (CAS 712-48-1); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|---------------|
| Peso molecolare | g / mole | 264.59 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | na |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | trascurabile |
| Costante di Henry adimensionata | - | na |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | na |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | na |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 1400 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | na |
| Melting point | °C | 38 °C ÷ 45 °C |
| Boiling point @ 760 mmHg | °C | 333 |

Contrariamente alle arsine alifatiche, la difenciloroarsina ha una pressione di vapore del tutto trascurabile (Gagliano Candela, 2000) e non viene vaporizzata nelle ordinarie condizioni di temperatura e pressione. Benché non si disponga di dati relativi al destino ambientale, si può ipotizzare un'elevata persistenza e una scarsa reattività della sostanza rilasciata al suolo o in acqua, comportamento non dissimile da quello della difenilamminocloroarsina (cfr. paragrafo precedente). In letteratura è documentato (Tørnes et al., 2002) un lento percorso degradativo del Clark I (Figura 30) che ragisce inizialmente con acqua a formare acido idroclorico e un instabile idrossido e, successivamente, tramite dimerizzazione, porta alla formazione di ossido di bis-fenilarsina (bis[diphenylarsine]oxide, CAS 2215-16-9, formula bruta $C_{24}H_{20}As_2O$), molto più stabile.

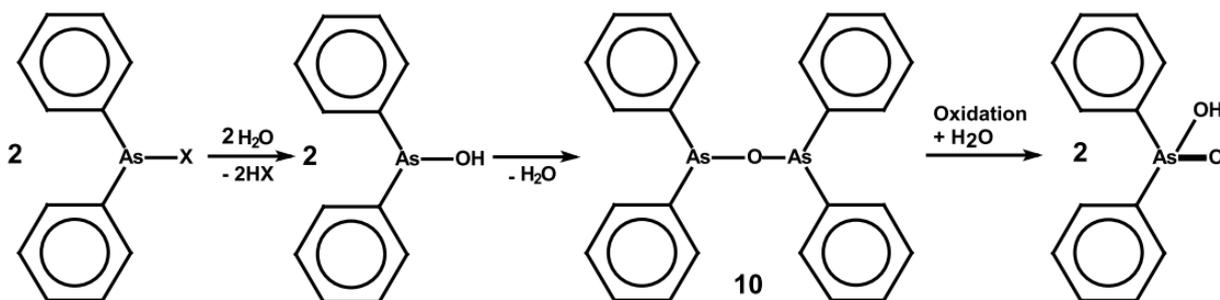


Figura 30 – Idrolisi del Clark I e II (X = Cl per il Clark I; X = CN per il Clark II) seguita da dimerizzazione e ossidazione; modificato da Tørnes et al., 2002

Solubile in fosgene (con il quale veniva mescolata, al 20%, nelle applicazioni belliche), tetracloruro di carbonio e nei comuni solventi organici, la difenilcloroarsina è in grado di combinarsi con il cloro formando il composto cristallino $(C_6H_5)_2AsCl \cdot Cl_2$ (Gagliano Candela, 2000) che fonde a 174 °C e presenta simili proprietà tossiche.

Difenilcloroarsina e prodotti di degradazione non risultano normati in alcun punto del D.Lgs. 152/06, né presi in considerazione dall'IARC.

4.2.11 Fenildicloroarsina

La fenildicloroarsina (CAS 696-28-6, arsonous phenyldichloride, "PD" nella terminologia militare) è un aggressivo chimico vescicante e vomitatorio di formula bruta $C_6H_5AsCl_2$, caratterizzato dalle proprietà chimico-fisiche riportate nella seguente tabella.

Tabella 21 – Proprietà chimico-fisiche della fenildicloroarsina (CAS 696-28-6); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|------------|
| Peso molecolare | g / mole | 222.93 |
| Solubilità in acqua @ 25 °C | mg / l | insolubile |
| Pressione di vapore saturo @ 20 °C | mmHg | 0.113 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 1.35E-3 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | 820 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | 3.1 |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 1652 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 7.7 |
| Melting point | °C | -20 |
| Boiling point | °C | 255 |

La fenildicloroarsina pura si presenta a temperatura e pressione ambiente come un olio inodore e incolore; se impura appare di colore bruno chiaro ed emette un caratteristico odore d'aglio rilevabile a concentrazioni maggiori di 1 ppm.

Sulla base di un valore stimato di K_{oc} (820), la fenildicloroarsina è considerata poco mobile nel suolo e, teoricamente, tendente ad essere adsorbita da solidi sospesi e sedimenti in acqua; sebbene anche la volatilizzazione da suolo superficiale umido sia teoricamente possibile, il destino ambientale del composto è condizionato dall'idrolisi in acqua, a formare ossido fenilarsenico e acido idroclorico (Figura 31); la letteratura è in disaccordo sulla velocità di tale reazione, definita qualitativamente sia come "molto lenta" che come "rapida".

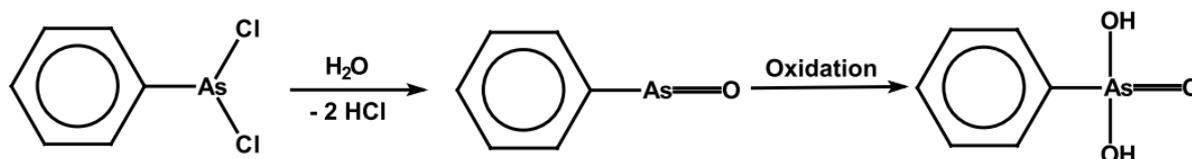


Figura 31 – Idrolisi della fenildicloroarsina (PD) ad ossido fenilarsenico, seguita da ossidazione ad acido fenilarsonico; modificato da Tørnes et al., 2002

Dal punto di vista della valutazione di cancerogenicità la fenildicloroarsina non risulta considerata in alcuno studio IARC; come specificato dall'EPA, i composti organici dell'arsenico sono da considerare tossicologicamente diversi da quelli inorganici e al momento sono da ascrivere al gruppo "D" della propria classificazione di "weight-of-evidence"¹⁹.

La fenildicloroarsina era abitualmente sintetizzata per reazione del benzene con il tricloruro di arsenico, in presenza di cloruro anidro di alluminio come catalizzatore; sebbene non risulti in alcun documento noto, né tantomeno da evidenze nel corso della dismissione o della bonifica del 1996, è stato ipotizzato lo stoccaggio all'interno del sito di tricloruro di arsenico.

4.2.12 Lewisite

La Lewisite (CAS 541-25-3, o 2-clorovinildicloroarsina, "HL" nella terminologia militare) è un derivato arsenicale alifatico utilizzato come aggressivo chimico vescicante, di formula bruta $C_2H_2AsCl_3$, meno persistente dell'iprite ma con azione più rapida; se pura si presenta come un liquido incolore; se impura, di colore variabile dal violetto al bruno, è riconoscibile per l'intenso odore di geranio. Veniva sintetizzata a partire da acetilene e tricloruro di arsenico, in presenza di cloruro di alluminio anidro (Gagliano Candela, 2000).

Sebbene non sia risultata tra i prodotti presenti al momento della dismissione del sito né tra quelli contenuti all'interno degli oggetti interrati rinvenuti e rimossi nel '96 non si può escludere che sia stata prodotta o stoccata in loco e/o che sia presente all'interno di eventuali ulteriori oggetti interrati.

La Lewisite è caratterizzata dalle proprietà chimico-fisiche riportate nella seguente tabella.

Tabella 22 – Proprietà chimico-fisiche della lewisite (CAS 541-25-3); da HSDB

| Parametro | UdM | Valore |
|---|---------------------|----------|
| Peso molecolare | g / mole | 207.32 |
| Solubilità in acqua | mg / l | 500 |
| Pressione di vapore saturo @ 25 °C | mmHg | 0.58 |
| Costante di Henry adimensionata | - | 1.309E-2 |
| Coefficiente di partizione Carbonio organico Koc | ml / g | 143 |
| Coefficiente di partizione Ottanolo/Acqua (log Kow) | - | na |
| Densità / Specific Gravity @ 20 °C | kg / m ³ | 1888 |
| Densità relativa del vapore (Aria = 1) | - | 7.1 |
| Melting point | °C | 0.1 |
| Boiling point @ 760 mmHg | °C | 190 |

Se rilasciata in acqua, il destino ambientale della Lewisite è condizionato da reazioni di idrolisi relativamente veloci, con conseguente produzione di diversi composti dell'arsenico organici e inorganici; la rapida reazione iniziale, in particolare, determina la formazione di un miscuglio

¹⁹ "Group D -- Not Classifiable as to Human Carcinogenicity: Agents without adequate data either to support or refute human carcinogenicity".

in equilibrio tra acido 2-clorovinilarsenioso e ossido di Lewisite, mentre i prodotti finali dell'idrolisi sono costituiti esclusivamente da ossido e acido cloridrico. In letteratura si segnala che l'idrolisi completa del cloro legato all'arsenico avviene in pochi minuti a 20 °C, e che essa è quasi altrettanto efficace (90% del cloro) al diminuire della temperatura fino a 5 °C. Gli alcali decompongono il composto in modo più profondo con separazione di acetilene (Gagliano Candela, 2000).

Se rilasciata al suolo, la Lewisite può presentare un'elevata mobilità, tenuto conto di un valore stimato relativamente basso per il K_{oc} ; nonostante una buona solubilità, la volatilizzazione da suolo superficiale umido è limitata dalla velocità di degradazione per idrolisi, favorita dalla presenza di minerali e per neutralizzazione, operata da suoli alcalini.

La Lewisite può teoricamente volatilizzare da suoli secchi ma il fenomeno è di fatto limitato da una bassa tensione di vapore e dalla verificata tendenza a formare ossidi. Non sono disponibili informazioni sulla biodegradazione nel suolo, sebbene si ipotizza un percorso di degradazione microbica che include epossidazione del doppio legame carbonio, dealogenazione riduttiva e deidroalogenazione.

Come riportato dalla letteratura specialistica la Lewisite, rispetto agli altri vescicanti, è meno stabile e si altera col tempo; è inoltre più facilmente bonificabile (Gagliano Candela, 2000).

La Lewisite non è inclusa nella lista degli agenti chimici classificati nelle monografie IARC; come riportato nella relativa scheda dell'Hazardous Substances Data Bank²⁰ (HSDB), "arsenical vesicants should be considered carcinogenic".

²⁰ HSDB è accessibile, gratuitamente, via TOXNET, all'indirizzo web: <http://toxnet.nlm.nih.gov>

4.3 Potenziali percorsi di migrazione e bersagli

Nell'impostare il piano di indagine descritto nel capitolo 5 si è ipotizzato conservativamente che il rilascio incontrollato dalle sorgenti di contaminazione ipotizzate nel par. 4.1 abbia prodotto potenziali fenomeni di contaminazione delle matrici suolo (superficiale e profondo) e acque sotterranee, attraverso il trasporto dei contaminanti stessi e/o dei loro prodotti di degradazione.

I suddetti fenomeni potenziali di trasporto sono stati ipotizzati tenendo conto delle proprietà chimico fisiche dei contaminanti di interesse nonché di quelle, note al momento, delle matrici ambientali coinvolte.

Allo stato attuale delle conoscenze relative allo strato ambientale dell'area si possono ipotizzare, quali recettori finali degli eventuali fenomeni di contaminazione:

- i futuri fruitori del sito, adulti e bambini residenti o non residenti in contesto "verde pubblico", esposti a contatto dermico, ingestione di particolato, inalazione di vapori, etc.;
- la falda sottostante il sito, da tutelare ai sensi del DLgs 4/2008 (rispetto CSC acque sotterranee);
- gli eventuali utilizzatori indiretti del corpo idrico per scopi idropotabili o ricreativi.

4.4 Considerazioni sui valori di Fondo Naturale

Per la definizione delle concentrazioni del fondo naturale ove necessario si farà riferimento al "Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale (APAT-ISS 2006)", il quale prevede, nell'ordine:

- la raccolta e analisi dei dati esistenti;
- la costituzione di un opportuno subset di dati, provenienti da aree che siano geologicamente e geomorfologicamente confrontabili con quella oggetto d'indagine, e caratterizzate dall'assenza di sorgenti attive nel presente o nel passato.;
- l'elaborazione statistica dei dati selezionati;
- la determinazione del fondo.

Il set di dati da elaborare statisticamente, vista la specificità del contesto geomorfologico nel quale si inserisce il sito oggetto di studio, sarà costruito integrando dati sito specifici, prelevati come descritto nel par. 5.2.1, con i risultati ("confrontabili") delle indagini preliminari conoscitive già realizzate e della vera e propria indagine di caratterizzazione relativa al bacino del lago di Vico, che è attualmente in corso di svolgimento.

5 PIANO D'INDAGINE

Il piano d'investigazione proposto ha lo scopo di approfondire il quadro conoscitivo dell'area investigando le aree a "maggiore criticità", individuate nella definizione del Modello Concettuale Preliminare, sia per la matrice suolo sia per la matrice acque sotterranee.

Per quanto riguarda la matrice suolo s'intende procedere attraverso l'applicazione di classiche tecniche dirette di indagine, ovvero prelevando:

- 45 campioni "base"²¹ di terreno da 15 sondaggi geognostici (di cui 5 attrezzati a piezometro), ubicati come illustrato in Tavola 5, da realizzarsi con le caratteristiche sintetizzate in Tabella 23 e le modalità definite in dettaglio nel par. 5.2.1;
- 68 campioni di terreno dal fondo e dalle pareti degli scavi che saranno realizzati per la rimozione delle masse anomale interrato, con le modalità descritte nel par. 5.2.2, preliminarmente all'esecuzione dei sondaggi.

Nella tabella seguente si sintetizza il quadro delle indagini geognostiche di progetto.

Tabella 23 – Schema di progetto dei sondaggi e piezometri da realizzare; PMAX = profondità massima di perforazione; CC = carotaggio continuo; DN = distruzione di nucleo

| ID | PMAX [m] | Descrizione | Tipo di perforazione |
|-----|---------------|--|--|
| SB1 | 10 | Sondaggio per la definizione del "bianco" | CC fino al livello lapideo |
| SB2 | 10 | Sondaggio per la definizione del "bianco" | CC fino al livello lapideo |
| S1 | 10 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC fino al livello lapideo |
| S2 | 10 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC fino al livello lapideo |
| S3 | 10 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC fino al livello lapideo |
| S4 | 10 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC fino al livello lapideo |
| S5 | 10 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC fino al livello lapideo |
| S6 | 5 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC |
| S7 | 5 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC |
| S8 | 5 | Sondaggio per la caratterizzazione della matrice suolo | CC |
| PZ1 | 60 | Sondaggio condizionato a piezometro | CC fino a fondo foro |
| PZ2 | 70 | Sondaggio condizionato a piezometro | CC fino al livello lapideo, DN fino a fondo foro |
| PZ3 | 30 | Sondaggio condizionato a piezometro | CC fino a fondo foro |

²¹ A meno di ulteriori campioni da prelevare in corrispondenza di evidenze di contaminazione (par. 5.2.1)

| ID | PMAX [m] | Descrizione | Tipo di perforazione |
|-----|---------------|-------------------------------------|--|
| PZ4 | 30 | Sondaggio condizionato a piezometro | CC fino a fondo foro |
| PZ5 | 40 | Sondaggio condizionato a piezometro | CC fino al livello lapideo, DN fino a fondo foro |

Per quanto riguarda la matrice acque sotterranee, al fine di ricostruire in dettaglio il modello idrogeologico a scala locale e di valutare la presenza di un'eventuale contaminazione delle acque sotterranee, si intende realizzare una rete di monitoraggio costituita da 5 piezometri ubicati come in Tavola 5, ciascuno impostato nella falda idrica più superficiale sottostante il punto d'indagine.

Si prevede di differenziare le modalità di scavo delle suddette opere (carotaggio continuo e/o distruzione di nucleo) come sintetizzato in Tabella 23, in funzione della successione stratigrafica attesa e dei riscontri della perforazione, al fine di ricostruire almeno due sezioni stratigrafiche rappresentative dell'area oggetto di studio.

Durante l'esecuzione delle attività di perforazione saranno comunque prelevati tre campioni di terreno per ogni verticale, analogamente ai sondaggi geognostici.

5.1 Attività preliminari

Le indagini di caratterizzazione del sito saranno subordinate all'esecuzione delle attività di bonifica bellica da parte del X Reparto Infrastrutture dell'Esercito.

Tale attività prevede l'esecuzione di scavi in corrispondenza delle anomalie rilevate dalla campagna geofisica eseguita dalla SO.IN.G. s.r.l. (cfr par. 3.5), finalizzati alla rimozione di potenziali sorgenti di contaminazione.

L'esecuzione del Piano di Indagine proposto nel presente elaborato sarà possibile solo al termine della succitata bonifica.

5.2 Caratterizzazione della matrice terreno

5.2.1 Sondaggi geognostici

I sondaggi SB1, SB2, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e S8, ubicati come in Tavola 4, saranno realizzati a carotaggio continuo, senza fluidi di perforazione e a bassa velocità di rotazione, affinché il terreno non subisca surriscaldamento, mediante carotiere da 101 mm.

I sondaggi SB1, SB2, S1, S2, S3, S4, S5 saranno spinti fino ad una profondità massima di 10 m, eventualmente limitandosi al raggiungimento del livello litoide, mentre i sondaggi S6, S7 e S8 saranno spinti ad una profondità di progetto di 5 m.

L'ubicazione dei punti per la determinazione del valore di "bianco" per i terreni (SB1 e SB2, esterni alla perimetrazione attuale del sito) è stata definita in modo da indagare aree il più possibile indisturbate dall'attività antropica ma aventi le stesse caratteristiche morfologiche, pedologiche e geologiche di quelle presumibilmente impattate.

Sulla verticale di ogni sondaggio saranno prelevati almeno tre campioni di terreno, così individuati:

- superficiale, rappresentativo del primo metro;
- fondo foro, rappresentativo dell'ultimo metro di carotaggio prima dell'intercettazione del livello litoide in posto;
- intermedio, prelevato in un orizzonte intermedio.

Nell'eventualità in cui venga intercettato un acquifero sospeso impostato nel deposito incoerente, i campioni verranno ugualmente prelevati in numero di 3 per sondaggio distinguendo, come previsto dall'Allegato 2 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06: un campione superficiale, rappresentativo del primo metro di perforazione, un campione di fondo, rappresentativo della frangia capillare, un campione intermedio nella zona intermedia tra i due campioni precedenti.

In corrispondenza di evidenze di inquinamento o di caratteristiche organolettiche, chimico-fisiche e stratigrafiche, verranno prelevati campioni di terreno aggiuntivi, come previsto dai riferimenti tecnico-normativi.

Al fine di determinare la stratigrafia del sottosuolo di ogni perforazione sarà redatta la descrizione degli orizzonti e delle macrolitologie rilevate; i risultati saranno rappresentati su appositi elaborati grafici.

5.2.2 Fondi e pareti da scavi per la rimozione delle anomalie interrato

L'esecuzione di campionamenti in corrispondenza (al di sotto) delle anomalie interrato evidenziate dalle indagini del 2009 (cfr. par. 3.5) sarà subordinata alle attività di scavo e rimozione previste per la "bonifica bellica" (par. 5.1), secondo un cronoprogramma al momento non ancora definito.

Gli esiti delle specifiche analisi su campioni di terreno prelevati in corso d'opera dal personale specializzato verranno acquisiti da questa Agenzia e utilizzati per ottimizzare le successive attività di campionamento.

In prima analisi, nella pianificazione delle modalità e della quantità di campioni da prelevare si intende adottare la seguente procedura:

- qualora sul fondo o sulle pareti degli scavi si rilevino evidenze di contaminazione, anomalie organolettiche, chimico fisiche e litologico-stratigrafiche, si valuterà la possibilità di prelevare uno o più campioni puntuali di terreno; in prima analisi si ipotizza un numero di campioni puntuali pari alla metà delle aree di anomalia evidenziate dalla geofisica (24), per un totale indicativo di 13;
- in assenza di evidenze sul fondo o sulle pareti degli scavi, si procederà formando e prelevando un opportuno numero di campioni di tipo composito, adottando un criterio pratico di proporzionalità, ovvero tenendo conto di cinque “scaglioni” di estensione della superficie di scavo, come di seguito riportato:
 - per aree di estensione < 100 m²: 1 campione;
 - per aree comprese tra 100 m² e 200 m²: 2 campioni;
 - per aree comprese tra 200 m² e 500 m²: 3 campioni;
 - per aree comprese tra 500 m² e 1000 m²: 5 campioni;
 - per aree di estensione > 1000 m²: 7 campioni;

L'applicazione del suddetto criterio consente di stimare, sulla base delle attuali conoscenze, il numero e la tipologia di campioni di terreno da pareti e fondo scavo riportati in Tabella 24.

Tabella 24 – Numero indicativo di campioni di terreno da prelevare sul fondo-scavo delle aree di anomalia; X_C e Y_C coordinate, in m e nel sistema UTM fuso 33, ED50, dei centroidi delle aree

| ID Anomalia | Estensione [m ²] | X_cent [m] | Y_cent [m] | N° Campioni | |
|-------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|------------------------|
| | | | | Compositi | Puntuali ²² |
| M14 | 23 | 265532 | 4687262 | 1 | 1 |
| M13 | 26 | 265524 | 4687271 | 1 | - |
| M7 | 28 | 265500 | 4687298 | 1 | 1 |
| M1 bis W | 30 | 265508 | 4687398 | 1 | - |
| M9 | 30 | 265502 | 4687276 | 1 | 1 |
| M10 | 31 | 265520 | 4687300 | 1 | - |
| M17 | 32 | 265593 | 4687238 | 1 | 1 |
| M1 bis E | 39 | 265524 | 4687388 | 1 | - |
| M19 | 40 | 265752 | 4687240 | 1 | 1 |
| M8 | 48 | 265494 | 4687285 | 1 | - |
| M16 | 71 | 265609 | 4687259 | 1 | 1 |
| M22 | 84 | 265925 | 4687248 | 1 | - |
| M21 | 88 | 265905 | 4687253 | 1 | 1 |

²² Nell'ipotesi preliminare che sia presente un'evidenza da campionare puntualmente ogni due aree di scavo

| ID Anomalia | Estensione [m ²] | X_cent [m] | Y_cent [m] | N° Campioni | |
|-------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|------------------------|
| | | | | Compositi | Puntuali ²² |
| M5 | 89 | 265530 | 4687330 | 1 | - |
| M15 | 115 | 265580 | 4687269 | 2 | 1 |
| M11 | 134 | 265536 | 4687297 | 2 | - |
| M18 | 138 | 265648 | 4687292 | 2 | 1 |
| M4 | 153 | 265663 | 4687328 | 2 | - |
| M2 | 153 | 265546 | 4687367 | 2 | 1 |
| M3 | 165 | 265587 | 4687361 | 2 | - |
| M12 | 185 | 265554 | 4687284 | 2 | 1 |
| M20 | 408 | 265823 | 4687208 | 4 | - |
| M6 | 462 | 265436 | 4687297 | 4 | 1 |
| M1 | 681 | 265502 | 4687367 | 6 | - |
| M23 | 966 | 265904 | 4687212 | 6 | 1 |
| M24 | 1272 | 265961 | 4687241 | 7 | - |
| TOTALE | | | | 55 | 13 |

5.2.3 Metodologia di campionamento

Le metodiche di campionamento della matrice terreno dovranno risultare conformi alle indicazioni operative predisposte da ARPA Lazio nell'appendice A del documento "Gestione delle attività riguardanti le bonifiche di siti contaminati – Procedura Operativa", di cui si riporta una breve sintesi e cui si rimanda per approfondimenti.

Nel caso dei sondaggi, qualora si preveda la determinazione di VOC e/o SVOC, le operazioni di formazione del campione verranno condotte immediatamente dopo la deposizione della carota nell'apposita cassetta catalogatrice, prelevando una piccola aliquota di terreno mediante l'utilizzo di un sub-campionatore (sub-corer) costituito da una mezza siringa in plastica priva della guarnizione in gomma.

Il prelievo del campione avverrà dal nucleo della carota, evitando le parti esterne della stessa, presumibilmente alterate dal calore prodotto dalla rotazione del carotiere, e lo stesso verrà immediatamente trasferito all'interno di una vial appositamente preparata con metanolo (estrazione con metanolo) o con acqua (ripartizione in fase vapore) e chiusa con un tappo con setto in teflon.

Ad ogni manovra il tecnico presente alle operazioni provvederà ad annotare la descrizione del materiale recuperato e i caratteri stratigrafici principali, questi dati saranno di norma integrati da documentazione fotografica.

Il trasferimento nel contenitore dovrà essere rapido, al fine di esporre il campione all'aria il minor tempo possibile, riducendo al minimo la volatilizzazione dei composti; dopo la formazione, il campione sarà riposto in un apposito contenitore refrigerato e trasportato nel

più breve tempo possibile e comunque in giornata al laboratorio. Il campione sarà conservato a una temperatura di circa 4°C.

Qualora non sia prevista la determinazione di VOC e/o SVOC, la carota verrà decorticata con una spatola in acciaio inox, scomposta su un telo di materiale impermeabile (polietilene) e omogeneizzata con tecniche di quartatura; il materiale così ottenuto sarà riposto in contenitori idonei, scelti a seconda dei subset analitici previsti (cfr. par. 5.2.5).

I campioni puntuali previsti per le eventuali evidenze verranno prelevati mediante palette in acciaio inox direttamente dal fondo dello scavo e/o dalla superficie delle pareti, eliminando la parte più superficiale di terreno (tra 2 e 5 cm nei casi più comuni, tra 5 e 10 cm nel caso di composti volatili), soprattutto se rimasta esposta a lungo agli agenti atmosferici.

Per l'analisi dei composti volatili la formazione del campione avverrà direttamente sulla parete o sul fondo dello scavo, senza omogeneizzazione e quartatura, utilizzando un sub-campionatore monouso (sub-corer), con il quale prelevare una aliquota di terreno da inserire rapidamente all'interno della vial appositamente preparata.

Per l'analisi dei composti non volatili la formazione del campione avverrà su telo impermeabile in polietilene e consisterà essenzialmente in una omogeneizzazione mediante quartatura.

I campioni di tipo composito verranno formati accorpando almeno 5 aliquote di terreno provenienti dalla medesima maglia e approssimativamente dello stesso peso, utilizzando attrezzatura adeguata e pulita (palette in acciaio inox, palette usa e getta in PVC, etc), e operando una iterata quartatura fino a completa omogeneizzazione del campione complessivo.

Il numero di aliquote per ciascun campione di terreno sarà definito in funzione dei set analitici previsti, come riportato nel par. 5.2.5; nel caso limite in cui si preveda di ricercare tutti gli analiti, dovranno essere ricavate da ogni campione:

- aliquota per analisi granulometrica e residuo secco a 105 °C, da raccogliere in contenitori di plastica o in sacchetti di polietilene ad alta resistenza, con sistema di chiusura ermetica o a nastro, e da conservare a temperature comprese tra 4 e 6 °C;
- aliquota per la chimica organica (idrocarburi, TOC, organici aromatici, organici alogenati, policlorobifenili, IPA), da raccogliere in contenitori sterili in teflon (PTFE) o, in alternativa, in polietilene ad alta densità (HDPE) o vetro, possibilmente dotati di sottotappo, e da conservare a temperature comprese tra 4 e 6 °C;
- aliquota per l'analisi di cloruri, solfati, cianuri liberi, fosforo totale, metalli, da raccogliere in contenitori sterili in HDPE e conservare temperature comprese tra 4 e 6 °C.

5.2.4 Decontaminazione delle attrezzature per il prelievo

Particolare attenzione sarà posta alle operazioni di decontaminazione delle attrezzature utilizzate per il prelievo dei suoli, ed in particolare:

- gli strumenti e attrezzature impiegate nelle diverse operazioni saranno costruiti in materiali quali acciaio INOX e PVC, tali che il loro impiego non modifichi le caratteristiche delle matrici ambientali e la concentrazione delle sostanze contaminanti;
- sarà verificata l'assenza di perdite di oli lubrificanti e altre sostanze dai macchinari, dagli impianti e da tutte le attrezzature utilizzate durante il campionamento; nel caso di perdite si adotteranno procedure tali che queste non producano contaminazione del terreno prelevato;
- alla fine di ogni perforazione e prima di una nuova si decontamineranno tutti gli attrezzi e gli utensili con acqua bidistillata;
- sarà garantito che dopo le operazioni di decontaminazione l'acqua e l'umidità presenti sulle pareti esterne e interne delle apparecchiature evaporino naturalmente, ovvero si procederà all'asciugatura con carta da filtro esente da contaminazione.
- nel maneggiare le attrezzature saranno utilizzati guanti puliti, monouso, per prevenire il diretto contatto con il materiale estratto;
- i campioni prelevati saranno disposti in cassette catalogatrici nuove, e verranno prese precauzioni per evitare la potenziale diffusione della contaminazione nell'ambiente circostante e nella matrice ambientale campionata (cross contamination).

5.2.5 Analisi di laboratorio – Set e metodiche

Sulla totalità dei campioni di terreno prelevati verranno eseguite analisi di laboratorio finalizzate alla determinazione di parametri chimico-fisici costituenti un set base (BASE); in aggiunta a tali parametri di base, su specifici campioni selezionati in funzione del modello concettuale preliminare, si intende operare determinazioni chimico-fisiche supplementari quali analisi granulometrica (A5), sostanze lavorate sul sito e relativi prodotti di degradazione (A1, A2 e A4), policlorobifenili (A3).

Qualora nel corso delle attività di bonifica bellica (da realizzarsi preliminarmente alle attività di caratterizzazione) venissero rinvenute e rimosse sorgenti di contaminazione dovute ad aggressivi chimici, le procedure interne NBC prevedono il prelievo di un campione di terreno sul quale verrà ricercato uno specifico set analitico che includa gli eventuali prodotti di degradazione; i risultati di tali analisi saranno parte integrante della documentazione del progetto NBC.

Le caratteristiche dei differenti set analitici sono riassunte in Tabella 25, mentre in Tabella 26 – Attribuzione del set analitico al punto di campionamento terreno viene indicato, sulla base del modello concettuale, quale set analitico applicare a ciascun campione previsto dal piano di indagine.

Tabella 25 – Analisi previste sui campioni di terreno da sondaggi e fondi scavo

| ID | Parametro | SET | Metodiche applicabili |
|----|-------------------------------|------|--------------------------|
| 01 | Analisi granulometrica | BASE | D.M. 13/09/1999 |
| 02 | Residuo secco a 105 °C | BASE | IRSA Q 64 |
| 03 | pH | BASE | IRSA Q 64 |
| 04 | Potenziale redox | BASE | |
| 05 | Cloruri | BASE | EPA 9056A/00 |
| 06 | Solfati | BASE | EPA 9056A/00 |
| 07 | Cianuri liberi | BASE | EPA 9014/96 |
| 08 | Fosforo totale | BASE | EPA 6020A/98 |
| 09 | TOC | BASE | IRSA Q 64 |
| 10 | Alluminio | BASE | EPA 6020A/98 |
| 11 | Arsenico | BASE | EPA 6020A/98 |
| 12 | Cadmio | BASE | EPA 6020A/98 |
| 13 | Cromo totale | BASE | EPA 6020A/98 |
| 14 | Mercurio | BASE | EPA 6020A/98 |
| 15 | Nichel | BASE | EPA 6020A/98 |
| 16 | Piombo | BASE | EPA 6020A/98 |
| 17 | Rame | BASE | EPA 6020A/98 |
| 18 | Zinco | BASE | EPA 6020A/98 |
| 19 | Vanadio | BASE | EPA 6020A/98 |
| 20 | Idrocarburi C < 12 | A1 | EPA 8015D/03 |
| 21 | Idrocarburi C > 12 | A1 | ISO 16703 |
| 22 | Benzene | A1 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| 23 | Etilbenzene | A1 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| 24 | Stirene | A1 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| 25 | Toluene | A1 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| 26 | Xileni | A1 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| 27 | Sommatoria organici aromatici | A1 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| 28 | Solventi organici clorurati | A2 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| a | Tetracloruro di carbonio | A2 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| b | Esacloretano | A2 | EPA 8260C/06 - IRSA Q 64 |
| 29 | Policlorobifenili (PCBs) | A3 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| 30 | IPA | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| a | Fenantrene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| b | Antracene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |

| | | | |
|----|----------------------------|----|--------------------------|
| c | Fluorantene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| d | Benzo (a) antracene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| e | Benzo (a) pirene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| f | Benzo (b) fluorantene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| g | Benzo (k) fluorantene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| h | Benzo (g,h,i) perilene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| i | Crisene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| l | Dibenzo (a,e) pirene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| m | Dibenzo (a,l) pirene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| n | Dibenzo (a,i) pirene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| o | Dibenzo (a,h) pirene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| p | Dibenzo (a,h) antracene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| q | Indenopirene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| r | Pirene | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |
| 31 | Sommatoria IPA (da d a r) | A4 | EPA 8270D/06 - IRSA Q 64 |

Tabella 26 – Attribuzione del set analitico al punto di campionamento terreno

| ID Sorgente | Punto di campionamento | Codice SET analitico |
|-------------|------------------------|-------------------------|
| SC-1 | S1 – S2 - S3 – S5– S7 | Base + A1 + A4 |
| SC-2 | PZ1 - S3 – S2 – S5 | Base + A2 |
| SC-3 | S5 – S4 | Base + A2 |
| SC-4 | PZ4 – PZ3 | Base + A1 + A2 + A3 +A4 |
| SC-5 | S8 | Base |
| SC-6 | S8 – S6 – PZ2 | Base + A2 |
| SC-7 | M1÷M24 – PZ5 | Base + A2 |
| SC-8 | S1 – S5 | Base + A3 |

Nel caso in cui, nel corso della bonifica bellica, fossero rinvenuti ordigni a caricamento speciale o recipienti contenenti prodotti chimici di analoga natura, il set analitico sarà integrato secondo le caratteristiche delle sostanze stesse.

In particolare il reparto NBC effettuerà campionamenti di terreno e determinazioni analitiche finalizzate alla rilevazione di eventuali e specifiche contaminazioni da prodotti bellici i cui risultati andranno ad integrare il quadro conoscitivo ambientale della caratterizzazione.

5.3 Caratterizzazione delle acque sotterranee

Per la caratterizzazione delle acque sotterranee si prevede di realizzare un rete di monitoraggio costituita da 6 piezometri di cui 5 ubicati come rappresentato sulla tavola 5 e un sesto da realizzare ad est del sito, in posizione da determinare in corso di d'opera, eventualmente attrezzando il sondaggio SB2.

5.3.1 Realizzazione dei piezometri

Le modalità di esecuzione e le caratteristiche di progetto di ciascun punto di monitoraggio saranno diversificate in funzione dell'ubicazione dei punti in un contesto particolarmente variabile dal punto di vista lito-morfologico; le profondità di progetto e le geometrie di completamento sono state definite, conservativamente, sulla base delle attuali conoscenze idrogeologiche sito-specifiche, ipotizzando una quota della superficie piezometrica praticamente coincidente con il pelo libero del vicino lago.

Le principali caratteristiche realizzative dei piezometri proposti sono di seguito riportate:

- **Piezometro PZ1:** sarà realizzato con perforazione a carotaggio continuo fino a fondo foro, ovvero fino alla profondità di progetto di 60 m dal p.c., spingendosi per circa 10 m all'interno dell'acquifero di base. In seguito al carotaggio il foro sarà rialesato con avanzamento "a distruzione di nucleo" ($d > 170$ mm) e circolazione diretta del fluido di perforazione fino alla quota di progetto. Come precedentemente riportato, nell'eventualità che venga intercettato un orizzonte acquifero sospeso, la perforazione sarà interrotta al tetto dell'aquiclude, interessando dunque interamente il tratto acquifero.
- **Piezometro PZ2:** sarà realizzato con perforazione a carotaggio continuo per i primi 10 m, e per i restanti 60 m a distruzione di nucleo.
- **Piezometri PZ3 e PZ4:** saranno realizzati con perforazione a carotaggio continuo fino a fondo foro, ovvero fino alla profondità di progetto di 30 m. Nell'eventualità che venga intercettato un orizzonte acquifero sospeso, la perforazione sarà interrotta all'intercettazione del tetto dell'aquiclude dello stesso, interessando dunque interamente il tratto acquifero. La perforazione sarà completata a piezometro di monitoraggio mediante rialesaggio a "distruzione di nucleo".
- **Piezometro PZ5:** sarà realizzato con le stesse modalità di perforazione descritte per i piezometri PZ3 e PZ4, e spinto ad una profondità di progetto di 40 m.

Durante la fase di perforazione sarà redatta una stratigrafia di dettaglio facendo particolare attenzione all'eventuale intercettazione di falde sospese.

Tutti i piezometri saranno completati con tubazione in PVC atossico ad alta densità, da 4".

La parte fessurata si estenderà tra il fondo foro e almeno un metro al di sopra del massimo livello statico della falda mentre nella restante parte di foro sarà installata una tubazione cieca.

Le microfessure avranno un'apertura tale da garantire un collegamento idraulico con l'acquifero (circa 0.5 mm); la giunzione tra i vari spezzoni di tubo sarà a manicotto filettato a passo trapezoidale, in modo da escludere l'utilizzo di collanti o di nastri isolanti contenenti solventi; il tubo sarà dotato di tappo di fondo e tappo di chiusura in sommità.

Nella corona cilindrica compresa tra il rivestimento ed il terreno sarà realizzato un dreno in ghiaietto siliceo arrotondato (\varnothing 0.5 - 1 cm), lavato e calibrato. Il dreno sarà posto nel tratto compreso tra fondo foro e 1 m sopra il tratto finestrato; lo spazio anulare sovrastante sarà sigillato con una miscela di cemento-bentonite.

Il manto drenante sarà posato con una metodologia che consenta la formazione di uno strato uniforme su tutta la lunghezza del tratto fessurato, evitando la formazione di ponti che pongano il rivestimento a diretto contatto con il suolo.

In seguito alla posa in opera della tubazione verrà realizzata un'opportuna protezione di superficie mediante una testapozzo munita di chiusura a chiave (lucchetto). La testa pozzo verrà protetta mediante pozzetto di cemento dotato di coperchio in ghisa carrabile eventualmente a tenuta, laddove sia ubicato in zone soggette ad allagamenti.

Dopo la messa in opera dei piezometri si procederà alle operazioni di sviluppo al fine di ripulirli dai detriti fini e di sviluppare rapidamente il pre-filtro naturale. Per lo sviluppo dei piezometri realizzati verrà utilizzata una pompa centrifuga sommersa collegata ad un generatore. Nel corso dello sviluppo idraulico si provvederà ad innalzare gradualmente la profondità di installazione della pompa in modo da interessare l'intero tratto di acquifero intercettato dal pozzo di monitoraggio.

I pozzetti di monitoraggio delle acque sotterranee saranno georeferenziati con precisione centimetrica.

Il cutting di perforazione e l'acqua di sviluppo dei piezometri saranno smaltiti secondo le modalità previste dalla normativa vigente.

5.3.2 Rilievo piezometrico

Al fine di definire la direzione di deflusso della falda nonché il gradiente idraulico locale, si intende realizzare, immediatamente dopo le operazioni di spurgo e contestualmente al rilievo topografico, una campagna di misura dei livelli piezometrici mediante sonda freaticometrica. Si sottolinea la necessità di effettuare contemporaneamente anche la misura della quota assoluta del lago, al fine di chiarire il rapporto con l'acquifero.

5.3.3 Metodologia di campionamento

In riferimento alla Procedura Operativa ArpaLazio n. PO DTO 010, il prelievo dell'acqua sotterranea sarà effettuato dopo almeno 15 giorni dal completamento dello stesso. Subito prima del campionamento sarà effettuato lo spurgo del piezometro, mediante pompa ad immersione a basso flusso di un volume d'acqua compreso tra 3 e 5 volte il volume del perforo in zona satura.

Preliminarmente alle attività di spurgo e campionamento si effettueranno le seguenti operazioni:

- misura del livello statico della falda;

- misura della profondità del pozzo tramite scandaglio;
- verifica dell'integrità e della corretta identificazione del pozzetto di campionamento;
- verifica della funzionalità e della pulizia di tutte le apparecchiature utilizzate durante il campionamento;
- decontaminazione delle apparecchiature utilizzate.

A ogni campionamento sarà eseguita la decontaminazione della pompa con acqua demineralizzata e saranno sostituite tutte le parti rimovibili.

Il prelievo sarà effettuato nel seguente modo:

- posizionamento dell'aspirazione della pompa in corrispondenza del punto medio dell'intervallo fessurato del rivestimento del piezometro;
- regolazione della portata di emungimento in modo da ottenere il minimo abbassamento nel livello del pozzo, sia durante lo spurgo, sia nel successivo campionamento;
- riempimento della cella di flusso e misurazione in continuo dei seguenti parametri: Temperatura, pH, Conducibilità, ossigeno disciolto, potenziale redox mediante sonda portatile.

Alla stabilizzazione dei parametri chimico-fisici sopra elencati, sarà eseguito il campionamento mediante deviazione del flusso d'acqua dalla cella di flusso alla bottiglia di campionamento.

5.3.4 Analisi di laboratorio – Set e metodiche

A differenza dei campioni di terreno, sulle acque prelevate dai piezometri s'intende determinare un unico set analitico costituito dai parametri chimico-fisici riportati in Tabella 27

La lista dei parametri è stata definita sia sulla base del modello concettuale preliminare che al fine di evidenziare eventuali correlazioni con le acque del bacino lacustre.

Tabella 27 – Analisi previste sui campioni di acqua da piezometri

| ID | Parametro | Metodiche applicabili |
|----|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 01 | Ossigeno disciolto | APAT CNR IRSA 4120A/03 |
| 02 | pH | APAT CNR IRSA 2060/03 |
| 03 | Potenziale redox | |
| 04 | Conducibilità elettrica specifica | APAT CNR IRSA 2030/2003 |
| 05 | Calcio | RAP. ISTISAN 07/31 |
| 06 | Magnesio | RAP. ISTISAN 07/31 |
| 07 | Sodio | RAP. ISTISAN 07/31 |
| 08 | Potassio | RAP. ISTISAN 07/31 |
| 09 | Bicarbonati | APAT CNR IRSA 2040/03 |
| 10 | Fosforo totale | EPA 6020A/98 – APAT CNR IRSA 4110A/03 |

| ID | Parametro | Metodiche applicabili |
|----|---|------------------------------|
| 11 | Boro | RAP. ISTISAN 07/31 |
| 12 | Cianuri liberi | EPA 9014/96 |
| 13 | Fluoruri | EPA 9056A/00 |
| 14 | Nitriti | EPA 9056A/00 |
| 15 | Nitrati | EPA 9056A/00 |
| 16 | Solfati | EPA 9056A/00 |
| 17 | Alluminio | EPA 6020A/98 |
| 18 | Arsenico | EPA 6020A/98 |
| 19 | Cadmio | EPA 6020A/98 |
| 20 | Cobalto | EPA 6020A/98 |
| 21 | Cromo totale | EPA 6020A/98 |
| 22 | Ferro | EPA 6020A/98 |
| 23 | Mercurio | EPA 6020A/98 |
| 24 | Nichel | EPA 6020A/98 |
| 25 | Piombo | EPA 6020A/98 |
| 26 | Rame | EPA 6020A/98 |
| 27 | Manganese | EPA 6020A/98 |
| 28 | Zinco | EPA 6020A/98 |
| 29 | Fenantrene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 30 | Antracene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 31 | Fluorantene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 32 | Benzo (a) antracene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 33 | Benzo (a) pirene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 34 | Benzo (b) fluorantene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 35 | Benzo (k) fluorantene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 36 | Benzo (g,h,i) perilene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 37 | Crisene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 38 | Dibenzo (a,e) pirene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 39 | Dibenzo (a,l) pirene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 40 | Dibenzo (a,i) pirene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 41 | Dibenzo (a,h) pirene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 42 | Dibenzo (a,h) antracene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 43 | Indenopirene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 44 | Pirene | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |
| 45 | Sommatoria IPA (da 25 a 37) | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5080 |

| ID | Parametro | Metodiche applicabili |
|----|---------------------|------------------------------|
| 46 | Aldrin | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5060 |
| 47 | Dieldrin | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5060 |
| 48 | Endrin | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5060 |
| 49 | Isodrin | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5060 |
| 50 | Atrazina | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5060 |
| 51 | Simazina | EPA 525 - APAT CNR IRSA 5060 |
| 52 | Idrocarburi totali | ISO 9377 |
| 53 | Alifatici clorurati | EPA 624 APAT CNR IRSA 5150 |
| 54 | Cloruri | EPA 9056A/00 |
| 55 | TOC | IRSA Q 64 |

5.4 Modalità di gestione e conservazione dei campioni

I campioni di terreno e/o di acqua prelevati per l'invio al laboratorio o per essere conservati come verifiche e contro campioni, saranno contrassegnati da etichette adesive riportanti:

- identificativo del cantiere;
- data di campionamento;
- identificativo del sondaggio/piezometro e (per il suolo) profondità media del campione.

I campioni saranno conservati in laboratorio:

- ad una temperatura di 4 °C, i campioni di acque e quelli di terreno da sottoporre ad analisi immediate e alla verifica delle sostanze non volatili;
- ad una temperatura di - 20 °C, i campioni di terreno da sottoporre alla determinazione delle sostanze volatili e semivolatili.

Tutte le operazioni che saranno svolte per il prelievo, la formazione, il trasporto e la conservazione del campione e per le analisi di laboratorio saranno documentate sull'apposito registro campioni ("chain of custody", COC).

6 BIBLIOGRAFIA

BERKOWITZ B., DROR I., YARON. BETTER, 2008, *Contaminant Geochemistry. Interactions and Transport in the Subsurface Environment*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag. ISBN: 978-3-540-74381-1

BERTAGNINI A., SBRANA A., 1986, *Il vulcano di Vico: stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche*, «Memorie Società Geologica Italiana», XXXV (1986), pp. 699-713.

BONI C., BONO P. CAPELLI G., 1986, *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*, «Memorie Società Geologica Italiana», XXXV (1986), pp. 991-1012.

BONI C., BONO P., CAPELLI G., 1988, *Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio alla scala 1:250.000*, Regione Lazio e Univ. di Roma La Sapienza

CAPELLI G., MAZZA R., DI CORCIA A., 2007, *Studio di caratterizzazione e relativo monitoraggio delle acque dei corpi idrici superficiali e delle falde sottostanti le aree di ricarica del bacino lacustre di Vico. Relazione finale*, Convenzione di Ricerca tra Univ. degli Studi Roma Tre, Univ. di Roma La Sapienza e Regione Lazio.

CHIOCCHINI U., MADONNA S., MANNA F., LUCARINI C., PUOTI F., CHIMENTI P., 2001, *Risultati sull'area delle manifestazioni termominerali di Viterbo*, «Geologia tecnica & ambientale», IX (2001) 1, pp. 17-32.

CIMARELLI C., DE RITA D., 2006, *Risultati sull'area delle manifestazioni termominerali di Viterbo*, «Journal of Volcanology and Geothermal Research», (2006) 1-2, pp. 106-116.

DEL BOCA A., 1996, *I gas di Mussolini. Il fascismo e la guerra d'Etiopia*, Roma, Editori Riuniti. ISBN: 8835958598

DI FEO G., 2009, *Veleni di stato*, Milano, BUR Biblioteca Universale Rizzoli. ISBN: 881703715X

DRAGONI W., LOTTI F., PISCOPO V., SIBI A., 2002, *Bilancio idrogeologico del lago di Vico (Lazio – Italia)*, Atti del convegno *Residence times in lakes: science, management, education*, Bolsena (VT - Italy), 29 settembre – 3 ottobre.

FETTER C.W., 1993, *Contaminant Hydrogeology*, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall. ISBN: 0-02-337135-8

GAGLIANO CANDELA R., COLUCCI A.P., 2000, *Aggressivi chimici, armi chimiche. Proprietà chimico-fisiche, reazioni, metodi di analisi, tossicità, bonifica*, Bari, Edizioni Giuseppe Laterza. ISBN: 88-8231-102-3

LA TORRE P., NANNINI R., SOLLEVANTI F., 1981, *Geothermal exploration in Central Italy: geophysical surveys in Cimini range area*, Atti del 43° meeting *European Association of Exploration Geophysicists*, Venezia Lido (Italy), 26-29 maggio.

LOCARDI E., 1965, *Tipi di ignimbriti di magmi mediterranei: le ignimbriti del vulcano di Vico*, «Atti Società Toscana di Scienze Naturali», 72, pp. 55-173.

MAGRI D., SADORI L., 1999, *Late Pleistocene and Holocene pollen stratigraphy at Lago di Vico, Central Italy*, «Vegetation History and Archeobotany», VIII (1999) 4, pp. 247-260.

NARCISI B., 2001, *Palaeoenvironmental and palaeoclimatic implications from the Late-Quaternary sediment record of Vico volcanic lake*, «Journal of Quaternary Science», XVI (2001) 3, pp. 245-255.

STOLLENWERK K.G., 2003, *Geochemical Processes Controlling Transport of Arsenic in Groundwater: a Review of Adsorption*, in *Arsenic in Groundwater, Geochemistry and Occurrence*, New York, Kluwer Academic Publishers, pp. 67-100. ISBN: 1-4020-7317-8

TØRNES J.A., VOIE Ø. A., LJØNES M., OPSTAD A.M., BJERKESETH L.H., HUSSAIN F., 2002, *Investigation and risk assessment of ships loaded with chemical ammunition scuttled in Skagerrak*, Kjeller, Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)²³, TA-1907/2002

²³ Norwegian Defence Research Establishment

Allegato 1

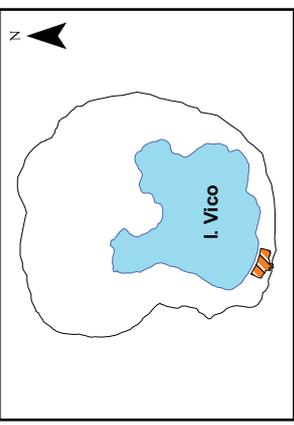
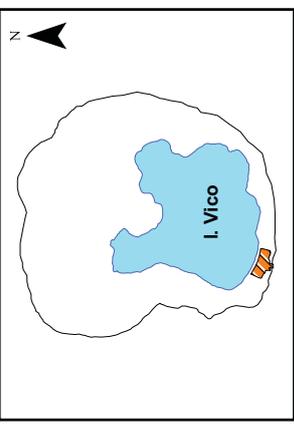
Tavola 1: principali strutture morfologiche

Tavola 2: strutture e sottoservizi

Tavola 3: sintesi delle indagini preliminari

Tavola 4: ubicazione dei punti d'indagine

Tavola 5: ubicazione campionamenti di fondo scavo



Legenda

- Cavità
- Cumuli
- Canalone
- Bordo Terrazzi
- Perimetro_NBC
- Edifici

0 Serbatoi acqua
 1 Ex alloggio del consegnatario
 2 Ex corpo di guardie (diroccato)
 3 Lab Caricamento Nebbioso
 4 Lab Caricamento Fosforo
 5 Falegnameria Officina Magazz. M.P.
 6 Cabine elettriche
 7 Magazzino materiali
 8 Magazzino materiali
 9 Magazzino materiali
 10 Magazzino materiali
 12 Magazzino materiali
 13 Magazzino materiali
 14 Corpo di guardia
 15 WC
 16 Deposito Carburanti
 17 Uff. del Consegnatario
 18 Ex torre di abbattimento
 19 Torre di Abbattimento
 21 Pensilina Fosforo
 22 Camere calde
 23 Magazzino materiali
 24 Gruppo elettrogeno
 25 Ex canile
 26 Container (Servizio di guardia)

0 20 40 80 Meters 1:3.000



ARPALAZIO
INGEGNERIA E ARCHITETTURA



Centro Tecnico Logistico Inferiori NBC

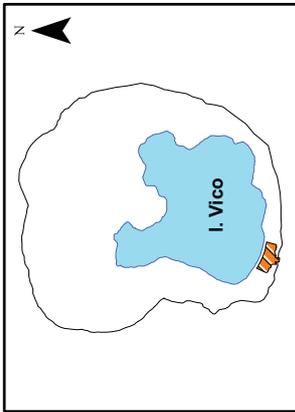
Piano di Caratterizzazione
 ex Magazzino Materiali di Difesa NBC
 di Lago di Vico

Tav. 01

Principali strutture morfologiche

giugno 2011 Documento di proprietà ARPA Lazio.





Legenda

— Strada principale

--- Sottoservizi

- 0 Condotta presa acqua
- 1 Canale disperdente
- 2 Pozzo disperdente
- 3 Sistema gasolio
- 4 Centrale ENEL
- 5 Condotta acqua
- 6 Scarico Canalone

□ Perimetro NBC

□ Edifici e Strutture in superficie

- 0 Serbatoi acqua
- 1 Ex alloggio del consegnatario
- 2 Ex corpo di guardia (dificolato)
- 3 Ex deposito carburanti
- 4 Lab. Caricamento Forforino
- 5 Falegnameria Officina Magazz. M.P.
- 6 Cabine elettriche
- 7 Magazzino materiali
- 8 Magazzino materiali
- 9 Magazzino materiali
- 10 Magazzino materiali
- 12 Magazzino materiali
- 13 Magazzino materiali
- 14 Corpo di guardia
- 15 Deposito
- 16 Deposito Carburanti
- 17 Uff. del Consegnatario
- 18 Ex torre di abbattimento
- 19 Torre di Abbattimento
- 20 Deposito Forforino
- 22 Camera calda
- 23 Magazzino materiali
- 24 Gruppo elettrogeno
- 25 Ex canale
- 26 Container (servizio di guardia)

□ Anomalia riconducibili a sottoservizi
(da SOING 2009)

1:2.500



Centro Tecnico Logistico Interforze NBC

**Piano di Caratterizzazione
ex Magazzino Materiali di Difesa NBC
di Lago di Vico**

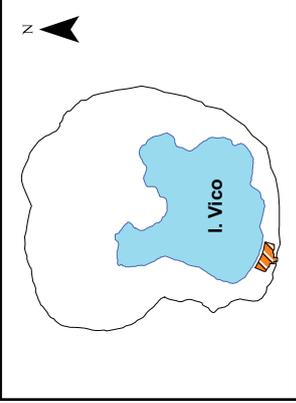
Tav. 02

Strutture e sottoservizi

giugno 2011

Documento di proprietà ARPA Lazio





Legenda

- Sondaggi eseguiti Soing (2009)
- Stend. geoelettrici Soing (2009)
- Perimetro NBC
- ▨ Anomale magnetiche Soing (2009)
- ▨ Area bonificata Min. Difesa (2006)
- Edifici

- 0 Serbatoi acqua
- 1 Ex alloggio del consegnatario
- 2 Ex corpo di guardia (dicrocabo)
- 3 Lab. Caricamento Esperimento
- 4 Lab. Caricamento Esperimento
- 5 Fabbrica Officina Magazz. M.P.
- 6 Cabine elettriche
- 7 Magazzino materiali
- 8 Magazzino materiali
- 9 Magazzino materiali
- 10 Magazzino materiali
- 12 Magazzino materiali
- 13 Magazzino materiali
- 14 Corpo di guardia
- 15 WC
- 16 Deposito Carburanti
- 17 Uff. del Consegnatario
- 18 Ex torre di abbattimento
- 19 Torre di Abbattimento
- 21 Pensilina Frosoro
- 22 Camere calde
- 23 Magazzino materiali
- 24 Gruppo elettrogeno
- 25 Ex canale
- 26 Container (Servizio di guardia)

1:2.500

Centro Tecnico Logistico Interforze NBC

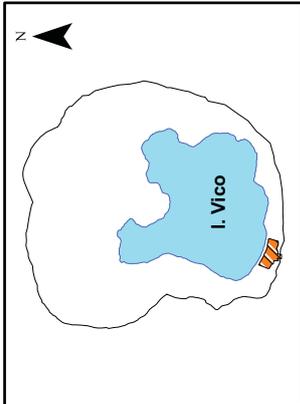
Piano di Caratterizzazione ex Magazzino Materiali di Difesa NBC di Lago di Vico

Tav. 03

Indagini pregresse

giugno 2011 Documento di proprietà ARPA Lazio.





Legenda

- Sondaggi (ARPA)
- Piezometri (ARPA)
- Edifici

- 0 Serbatoi acqua
- 1 Ex alloggio del consegnatario
- 2 Ex corpo di guardia (diroccato)
- 3 Lab Caricamento Nebbrogno
- 4 Lab Caricamento Fosforo
- 5 Falegnameria Officina Magazz M.P.
- 6 Cabine elettriche
- 7 Magazzino materiali
- 8 Magazzino materiali
- 9 Magazzino materiali
- 10 Magazzino materiali
- 12 Magazzino materiali
- 13 Magazzino materiali
- 14 Corpo di guardia
- 15 WC
- 16 Deposito Carburanti
- 17 Uff. del Consegnatario
- 18 Ex torre di abbattimento
- 19 Torre di Abbattimento
- 21 Pensilina Fosforo
- 22 Camere calde
- 23 Magazzino materiali
- 24 Gruppo elettrogeno
- 25 Ex canale
- 26 Container (Servizio di guardia)

0 25 50 100
Meters
1:3.000



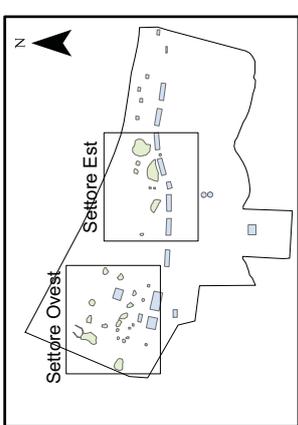
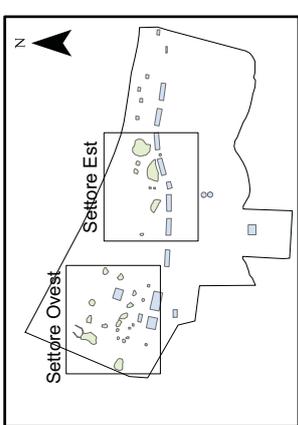
Centro Tecnico Logistico Interforze NBC

Piano di Caratterizzazione ex Magazzino Materiali di Difesa NBC di Lago di Vico

Tav. 04 Indagini previste

giugno 2011 Documento di proprietà ARPA Lazio





- 0 Serbatoi acqua
- 1 Ex alloggio del consegnatario
- 2 Ex corpo di guardia (diroccato)
- 3 Lab. Caricamento Nebbiogeno
- 4 Lab. Caricamento Fosforo
- 5 Falegnameria Officina Magazzino M.P.
- 6 Cabine elettriche
- 7 Magazzino materiali
- 8 Magazzino materiali
- 9 Magazzino materiali
- 10 Magazzino materiali
- 12 Magazzino materiali
- 13 Magazzino materiali
- 14 Corpo di guardia
- 15 WC
- 16 Deposito Carburanti
- 17 Uff. del Consegnatario
- 18 Ex torre di abbattimento
- 19 Torre di Abbattimento
- 21 Pensilina Fosforo
- 22 Camere calde
- 23 Magazzino materiali
- 24 Gruppo elettrogeno
- 25 Ex canine
- 26 Container (Servizio di guardia)

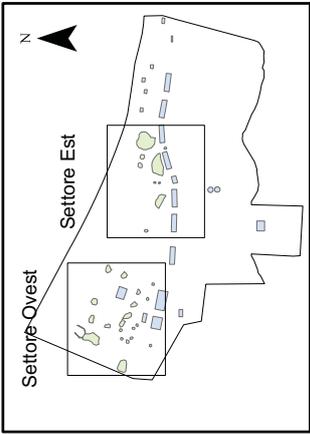
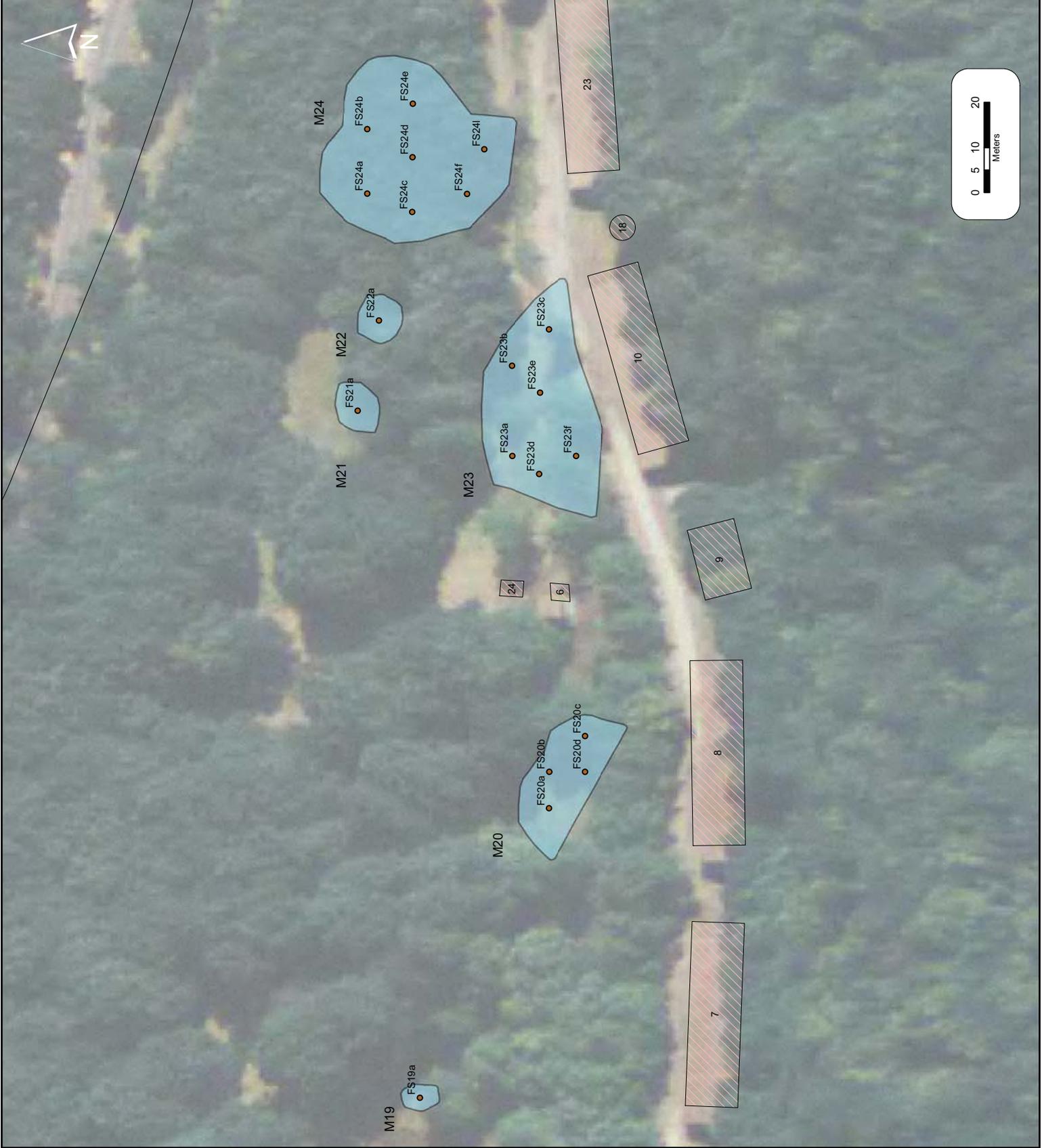
1:800



Centro Tecnico Logistico Interforze NBC

Piano di Caratterizzazione
ex Magazzino Materiali di Difesa NBC
di Lago di Vico

Tav. 05a
Campioni fondo scavo
Settore Ovest



Legenda

- Campioni di FondoScavo
- Perimetro NBC
- Anomalie magnetiche
- Edifici

- 0 Serbatoi acqua
- 1 Ex alloggio del consegnatario
- 2 Ex corpo di guardia (diroccato)
- 3 Lab Caricamento Nebbiogeno
- 4 Lab Caricamento Fostoro
- 5 Falegnameria Officina Magazz. M.P.
- 6 Cabine elettriche
- 7 Magazzino materiali
- 8 Magazzino materiali
- 9 Magazzino materiali
- 10 Magazzino materiali
- 12 Magazzino materiali
- 13 Magazzino materiali
- 14 Corpo di guardia
- 15 WC
- 16 Deposito Carburanti
- 17 Uff. del Consegnatario
- 18 Ex torre di abbattimento
- 19 Torre di Abbattimento
- 21 Pensilina Fostoro
- 22 Camere calde
- 23 Magazzino materiali
- 24 Gruppo elettrogeno
- 25 Ex canile
- 26 Container (Servizio di guardia)

1:800




Centro Tecnico Logistico Interforza NBC

**Piano di Caratterizzazione
ex Magazzino Materiali di Difesa NBC
di Lago di Vico**

**Tav. 05b
Campioni fondo scavo
SettoreEst**

giugno 2011 Documento di proprietà ARPA Lazio.