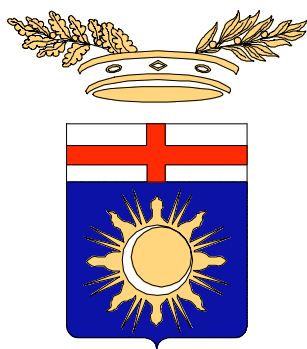




**PROVINCIA
DI MILANO**

Settore Ecologia
U.O. Tecnica Progetti Speciali

Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo

LINEA GUIDA N. 1

**PERIMETRAZIONE
E
CARATTERIZZAZIONE
DI UN SITO CONTAMINATO**



Milano, 12 Febbraio 1999

Realizzazione a cura di:

Guido Rosti

Luca Raffaelli

Paola Raimondi

Dirigente U.O. Tecnica Progetti Speciali

Geologo Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo

Geologo Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo

Con la collaborazione dei geologi dell'Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo:

Federica Facchino, Giovanni Porto, Pier Giorgio Valentini, Andrea Zelioli

Relazione presentata in occasione del seminario “***Bonifica dei siti contaminati: presentazione delle proposte della Provincia di Milano***” – Milano, 12 febbraio 1999.

Il presente elaborato è disponibile sul sito web dell'U.O. Tecnica Progetti Speciali:
www.provincia.milano.it/progettispeciali

Stampato in proprio dalla Provincia di Milano – Febbraio 1999

INDICE

1. PERIMETRAZIONE DEL SITO ED ATTIVITÀ PRELIMINARI	6
1.1. RACCOLTA DATI ED INFORMAZIONI DISPONIBILI	6
1.1.1. Inquadramento generale del sito	7
1.1.2. Censimento dei dati ambientali	8
1.1.3. Analisi dei cicli lavorativi attuali e pregressi	9
1.1.4. Definizione del modello concettuale geologico ed idrogeologico del sito	10
1.2. INDIVIDUAZIONE DI SOTTO-AREE OMOGENEE	12
1.3. PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EMERGENZA	13
1.4. ORGANIZZAZIONE E GESTIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE (SIT)	13
2. PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E PRIORITÀ DI INTERVENTO	15
2.1. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DI INDAGINI INDIRETTE	15
2.2. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DI INDAGINI DIRETTE	15
2.2.1. Ubicazione dei punti di indagine dei terreni	16
2.2.2. Metodi di perforazione	17
2.2.3. Ubicazione dei punti di indagine delle acque di falda	18
2.2.4. Modalità del campionamento	20
2.2.5. Preparazione del campione da inviare ad analisi	21
2.2.6. Scelta del contenitore, trasporto e conservazione	22
2.2.7. Campioni di bianco di riferimento	22
2.2.8. Criteri necessari per il controllo della qualità delle operazioni di campionamento	23
2.3. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DI ANALISI DI LABORATORIO	23
2.3.1. Parametri chimici da analizzare	24
2.3.2. Elaborazione ed interpretazione dei dati analitici	24
2.4. DEFINIZIONE E GESTIONE DEL MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE	25
2.4.1. Monitoraggio piezometrico	26
2.4.2. Monitoraggio idrochimico	26
2.5. CARATTERIZZAZIONE TRIDIMENSIONALE DELLO STATO DI QUALITÀ DELL'AREA	27
2.6. DEFINIZIONE DELLE PRIORITÀ DI BONIFICA PER LE RISPETTIVE SOTTOAREE	29
2.7. TEMPI DI REALIZZAZIONE E CALENDARIO DELLE ATTIVITÀ	29

PREMESSA

Uno dei principali problemi che i tecnici privati e pubblici si trovano ad affrontare nell'approccio alla bonifica dei siti contaminati, è quello di una corretta definizione nelle tre dimensioni dello stato di contaminazione delle varie matrici ambientali.

Oggetto del presente documento è pertanto la definizione di uno standard di riferimento per lo sviluppo logico delle attività finalizzate alla perimetrazione e caratterizzazione ambientale di un'area nella quale si hanno, o si sospetta di avere, evidenze di contaminazione.

In particolare la perimetrazione è finalizzata a definire con precisione le aree che dovranno essere oggetto delle successive fasi di lavoro mentre la caratterizzazione è finalizzata alla definizione di dettaglio dello stato qualitativo di contaminazione ambientale di tali aree.

Con particolare riferimento alla fase di caratterizzazione, il presente documento si configura come una serie di linee guida a cui i progettisti dovranno attenersi nell'impostazione della relazione tecnica e documentale relativa alla fase di perimetrazione e nella redazione della proposta di piano di indagine ambientale (da sottoporre all'approvazione degli Enti competenti) e nella gestione dei dati disponibili ed acquisiti nonché nell'elaborazione degli stessi.

Tali attività preliminari sono finalizzate alla corretta programmazione, progettazione e realizzazione di tutti gli interventi necessari a contenere il movimento e la diffusione degli inquinanti e/o ridurre la presenza a valori tali da non determinare pericoli per la salute umana e per l'ambiente.

Per il raggiungimento degli obiettivi indicati, le attività operative ed i processi decisionali relativi agli ambiti individuati, dovranno seguire un approccio basato su fasi conseguenti di lavoro così schematizzabili:

A) Perimetrazione del sito ed attività preliminari

- *Raccolta dati ed informazioni disponibili*
- *Individuazione di eventuali sotto-aree omogenee*
- *Progettazione e realizzazione di eventuali interventi di emergenza*
- *Organizzazione e gestione di un sistema informativo georeferenziato (GIS)*

B) Piano di caratterizzazione del sito e priorità di intervento

- *Pianificazione ed esecuzione di indagini indirette*
- *Pianificazione ed esecuzione di indagini dirette*
- *Pianificazione ed esecuzione di analisi di laboratorio*
- *Definizione e gestione di un sistema di monitoraggio delle acque di falda*
- *Caratterizzazione tridimensionale dello stato di qualità dell'area*
- *Definizione delle priorità di bonifica per le rispettive sottoaree*

E' del tutto evidente che preliminarmente a tali attività, a' sensi della normativa vigente ed ai fini del dimensionamento dell'intervento, dovrà essere definito con chiarezza quanto segue:

- Obiettivi finali di bonifica dei terreni;
- Obiettivi finali di bonifica dei materiali di riporto e rifiuti.

Di seguito si illustra lo schema logico ed i contenuti tecnici delle relazioni e delle attività che dovranno essere prodotte dai proprietari delle aree perimetrate. Si sottolinea in proposito che, oltre alle prescrizioni indicate, in corso d'opera e sulla base dei dati che verranno via via raccolti, gli Enti di controllo mantengono comunque la facoltà di prescrivere i necessari aggiustamenti, modifiche ed integrazioni soprattutto per quanto riguarda l'ubicazione dei punti di misura, la tipologia di analisi da eseguire e la cadenza delle rilevazioni.

In generale si sottolinea che l'approfondimento delle indagini condotte al fine di produrre una perimetrazione e caratterizzazione del sito, dovrà essere direttamente proporzionato alla effettiva presenza di strutture produttive e infrastrutture a rischio, alla pericolosità e tossicità delle sostanze utilizzate o prodotte, alla vulnerabilità all'inquinamento delle risorse idriche sotterranee e all'esistenza nell'intorno del sito di ricettori umani e ambientali a rischio.

Si fa presente in particolare che l'attività di caratterizzazione preliminare delle aree poi soggette ad indagini, risulta estremamente importante e delicata, in quanto se condotta in modo superficiale o incompleto, può compromettere anche in modo significativo il risultato dei successivi interventi di indagine e di bonifica.

Da ultimo si sottolinea che nel caso in cui l'analisi da condurre riguardi singole aree che in passato risultavano parti di complessi più ampi, le attività di inquadramento, di seguito esposte, dovranno necessariamente riguardare l'intorno complessivo, in modo da fornire un quadro attendibile di tutte le problematiche esistenti.

1. PERIMETRAZIONE DEL SITO ED ATTIVITÀ PRELIMINARI

Tale attività risulta essere finalizzata ad individuare e delimitare in modo univoco, l'area di interesse, sulla quale dovranno essere condotte le successive fasi di caratterizzazione e bonifica.

Tale operazione dovrà essere condotta con l'ausilio della cartografia di base esistente aggiornata o prodotta allo scopo.

Per quanto riguarda in particolare le singole sottoaree, in relazione al fatto che su alcune di esse sono stati già condotte in passato una serie di attività di indagine e/o bonifica, si specifica che:

A supporto di tale ricostruzione risulta necessario disporre anche di documentazione storica quale:

- planimetrie di dettaglio e cartografia storica illustrativa dell'ubicazione passata degli edifici con le varie destinazioni d'uso con particolare riferimento agli impianti e reti tecnologiche sia aeree che interrate;
- rilievi aereofotogrammetrici e rilievi aerei pregressi, che permettano di analizzare la situazione del sito prima delle sue eventuali e successive trasformazioni con particolare riferimento alle passate ubicazioni degli impianti, ad aree depresse successivamente riempite, a zone soggette a movimento terra o a vere e proprie discariche, o altri elementi di particolare interesse;

La corretta ubicazione e delimitazione dell'area dovrà essere fornita sulle seguenti basi cartografiche, che dovranno essere rese disponibili anche in formato digitale raster e/o vettoriale:

- sezione Carta Tecnica regionale scala 1: 10.000;
- stralcio cartografia del PRG e certificazione di destinazione d'uso delle aree in esame;
- cartografia catastale;
- cartografia di dettaglio:
 - scala 1:500 per punti critici;
 - scala 1:2.000 per singole aree su base catastale.

Ad integrazione di tale materiale cartografico risulta utile disporre inoltre di rilievi fotografici aerei aggiornati (1994) a scala significativa, che riportino la delimitazione dell'area di intervento.

1.1. RACCOLTA DATI ED INFORMAZIONI DISPONIBILI

Tale attività consiste nella raccolta di informazioni dettagliate e disponibili riguardanti l'area, ed hanno come obiettivo fondamentale il riconoscimento di una situazione di potenziale contaminazione mediante:

- l'identificazione di tutte le attività antropiche che hanno, o hanno avuto luogo nell'area, come potenziali fonti di contaminazione;
- identificazione delle vie di migrazione dei contaminanti, dirette ed indirette;
- l'individuazione dei bersagli potenziali della contaminazione.

1.1.1. Inquadramento generale del sito

Dovranno essere dapprima condotti dei sopralluoghi preliminari sul sito, condotti da tecnici delle diverse discipline, ponendosi come obiettivo la verifica della situazione del sito e del territorio circostante secondo valutazioni relative ai seguenti aspetti: igienico-sanitari, geologici e idrogeologici, geomorfologici, idrologici, chimici, ambientali.

Dovrà essere predisposta, sulla base della documentazione raccolta e grazie a detti sopralluoghi, una specifica relazione da parte di (tecnico o professionista abilitato) relativamente allo stato del sito, atta ad evidenziare le caratteristiche specifiche e ambientali del sito medesimo. Per quanto riguarda le caratteristiche specifiche, tale ricostruzione dovrà riguardare sia la situazione passata che quella attuale.

In particolare dovranno essere illustrate:

Caratteristiche specifiche del sito:

- Stato e tipologia delle strutture e degli impianti presenti. Rappresentazione grafica in scala 1:500 delle aree dei singoli impianti e delle strutture presenti;
- Presenza e tipologia di serbatoi di stoccaggio fuori terra/interrati o vasche, loro integrità e volume, quantità e caratteristiche del contenuto. Rappresentazione grafica in scala 1:500 delle aree dei serbatoi di stoccaggio fuori terra/interrati o vasche;
- Presenza di aree o platee di stoccaggio e loro stato. Rappresentazione grafica in scala 1:500 delle aree di stoccaggio;
- Presenza di impianti tecnologici di trattamento e loro stato. Rappresentazione grafica in scala 1:500 delle aree dei singoli impianti;
- Presenza ed ubicazione di condutture sotterranee o aeree e loro stato. Rappresentazione grafica in scala 1:500 e su base catastale in scala 1:2000 o 1:4000;
- Presenza ed ubicazione delle linee acquedottistiche. Rappresentazione grafica in scala 1:500 e su base catastale in scala 1:2000 o 1:4000;
- Presenza ed ubicazione delle linee fognarie acque chiare/luride e strutture o impianti connessi. Rappresentazione grafica in scala 1:500 e su base catastale in scala 1:2000 o 1:4000;
- Presenza di residui di lavorazione, prodotti intermedi, materia prima, descrizione della tipologia, caratteristiche organolettiche, stato fisico, quantità, modalità di stoccaggio e superfici coinvolte. Rappresentazione grafica delle aree in scala 1:500;
- Presenza di accumuli di rifiuti, stima dei volumi e superfici coinvolte, stabilità dell'accumulo, tipologia del rifiuto, evidenze organolettiche, presenza di percolato o biogas, eventuali misure di controllo/protezione/messa in sicurezza presenti. Rappresentazione grafica delle aree in scala 1:500;
- Presenza, stato, ubicazione ed utilizzo di pozzi di presa/resa/perdenti. Rappresentazione grafica su base catastale in scala 1:2000;

Elementi relativi al contesto territoriale ed ambientale:

- Vicinanza e tipologia di edifici di particolare interesse pubblico. Rappresentazione grafica su base catastale;
- Idrografia locale e aree esondabili. Rappresentazione grafica su base catastale;
- Litologie affioranti.

- Manifestazioni idrogeologiche superficiali (sorgenti, fontanili, zone umide). Rappresentazione grafica su base catastale;
- Morfologia del territorio.
- Prima valutazione di stabilità dei versanti o pendii.
- Vegetazione.
- Biotopi principali.

Tale ricostruzione dovrà essere riassunta su idonee planimetrie di dettaglio a scala 1:500 – 1: 2.000, anche Rappresentazione grafica su base catastale; per quanto riguarda il sito specifico e in scala 1:5000 – 1:10.000 per quanto riguarda il contesto territoriale.

1.1.2. Censimento dei dati ambientali

Il censimento dei dati ambientali è una delle fasi che preliminarmente deve essere compiuta e riguarda tutto il materiale disponibile per l'area in esame, in particolare materiale attinente ad indagini e studi di carattere ambientale/idrogeologico condotti in precedenza sul sito. Inoltre deve essere fornita idonea documentazione relativa ad eventuali determinazioni analitiche condotte in passato sulle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque sotterranee.

In particolare dovranno essere ricercati e presentati:

- studi precedentemente condotti (idrogeologici, geotecnici, geofisici, geomorfologici, ecc.) con relativi elaborati cartografici (carte geologiche, sezioni idrogeologiche, piezometrie, carte idrochimiche, ecc.);
- dati esistenti riguardanti accertamenti analitici sulla qualità del suolo e sottosuolo dell'area in esame;
- dati esistenti riguardanti accertamenti analitici sulla qualità delle acque di scarico degli insediamenti presenti sia in passato che attualmente, sul sito in esame;
- dati esistenti riguardanti accertamenti analitici sulla qualità delle acque relative ai pozzi, piezometri e sorgenti, esistenti sull'area in esame ed eventualmente presenti sul sito in oggetto;
- dei pozzi, dei piezometri e delle sorgenti esistenti sull'area in esame ed eventualmente presenti sul sito in oggetto dovrà essere fornito: ubicazione, stratigrafie, portata, utilizzatore (pubblico o privato), stato di attività (attivo, in disuso, cementato), utilizzo delle acque emunte dai pozzi e dalle sorgenti (potabile, industriale, agricolo);
- dati relativi ai valori piezometrici o di portata e di variazione nell'ultimo decennio;

Con riferimento a pozzi e/o piezometri esistenti nell'area in esame ed eventualmente presenti sul sito in oggetto, dovranno per quanto possibile, essere fornite le seguenti informazioni:

- ubicazione dei pozzi-piezometri interni al sito;
- ubicazione dei pozzi-piezometri esterni al sito in un intorno significativo di almeno due chilometri di raggio;
- codice identificativo ufficiale;
- denominazione e proprietà;
- tipo di captazione (pozzo o piezometro);
- quota del piano campagna e dell'eventuale punto di riferimento per le misure piezometriche espressa in metri s.l.m. ;

- stratigrafia. In assenza della stessa, informazione relative alla profondità del pozzo/piezometro, localizzazione dei livelli fenestrati, diametri della colonna di produzione, presenza di livelli di cementazioni del dreno, finalizzate alla separazione dei vari acquiferi;
- livello piezometrico statico e dinamico alla data del collaudo del pozzo e valore della portata emunta o dati relativi a prove idrauliche sul pozzo/piezometro;
- analisi chimiche condotte sulle acque di falda dei pozzi/piezometri.

L'ubicazione dei pozzi-piezometri interni al sito dovrà essere prodotta su base cartografica in scala 1:1.000 – 1: 2.000 su base catastale e topografica;

ubicazione dei pozzi-piezometri esterni al sito dovrà essere prodotta su base cartografica in scala 1:5.000 – 1:10.000.

Qualora all'interno dell'area di indagine di almeno 2 km di raggio, non siano reperibili i dati sopra richiesti, dovranno essere ricercati dati e/o studi e/o monografie a scala sovracomunale e/o provinciale, o stralci degli stessi, atti comunque a fornire elementi utili alla caratterizzazione idrogeologica e idrochimica dell'area.

1.1.3. Analisi dei cicli lavorativi attuali e pregressi

Deve essere condotta un'analisi dell'attività attuale e passata condotte sul sito, prevedendo una ricostruzione della cronologia e della tipologia di attività anche per eventuali porzioni annesse alla proprietà in tempi successivi.

Dovranno essere innanzitutto individuate:

- la tipologia e i cicli di attività (produttiva e/o di servizio) condotte sul sito;
- le sostanze chimiche utilizzate, prodotte, derivate, stoccate, smaltite;
- l'ubicazione degli impianti/aree di utilizzo, produzione, derivazione, stoccaggio, deposito e smaltimenti.
- la ricostruzione di eventuali eventi accidentali di sversamenti, perdite, etc.
- localizzazione possibili sorgenti di contaminazione, ecc.

Tale ricostruzione dovrà essere supportata da idonee planimetrie di dettaglio a scala 1:500 –1: 2.000, su base catastale e topografica, soprattutto per quanto riguarda l'ubicazione e la distribuzione attuale, di tutti i servizi interrati (fognature e pozzetti di raccolta, tubazioni di processo e di trasferimento dei prodotti, rete idrica, serbatoi e vasche interrate, pozzi di resa e di presa, ecc.).

A supporto di tale ricostruzione risulta necessario disporre anche di documentazione storica quale:

- planimetrie di dettaglio e cartografia storica illustrativa dell'ubicazione passata degli edifici con le varie destinazioni d'uso con particolare riferimento agli impianti e reti tecnologiche sia aeree che interrate in scala 1:500 nonché 1:2000 catastale attuale e storico;
- rilievi aereofotogrammetrici e rilievi aerei pregressi effettuati negli anni '50 e negli anni '70, sia di altri rilievi regionali e/o locali precedenti o posteriori, che permettano di analizzare la situazione del sito prima delle sue eventuali e successive trasformazioni con particolare riferimento alle passate ubicazioni degli impianti, ad aree depresse successivamente riempite, a zone soggette a movimento terra o a vere e proprie discariche, o altri elementi di particolare interesse;

1.1.4. Definizione del modello concettuale geologico ed idrogeologico del sito

Tale fase risulta di fondamentale importanza al fine di dimensionare ed impostare correttamente il successivo piano delle indagini per la caratterizzazione dello stato di contaminazione del sottosuolo e delle acque sotterranee.

Dapprima dovrà essere effettuata una descrizione della composizione litologica del sottosuolo (depositi fluvio-glaciali, depositi fluviali, ecc.) e della sua struttura.

Inoltre dovrà essere verificata la presenza o l'assenza di strutture acquifere nel sottosuolo.

In caso affermativo, sulla base dei dati raccolti dovrà essere effettuata una prima ricostruzione della struttura idrogeologica dell'area considerata, al fine di definire la geometria degli acquiferi, i rapporti tra gli stessi, la loro vulnerabilità, la direzione prevalente del flusso idrico sotterraneo delle singole falde, i rapporti fiumi/falda.

In particolare dovranno essere forniti i seguenti elaborati:

- carte storiche delle isopiezometriche (m s.l.m.), finalizzate in particolare alla valutazione delle eventuali variazioni periodiche e/o stagionali della direzione del flusso idrico sotterraneo a scala adeguata a rappresentare il sito in oggetto in maniera compiuta e di visualizzazione complessiva;
- sezioni idrogeologiche poste in direzioni ortogonali tra loro, corrispondenti alla direzione di massima e minima propagazione del flusso idrico sotterraneo, finalizzate a delineare un quadro attendibile delle geometrie dei corpi idrici sotterranei e degli acquitardi e/o acquicludi a loro interposti;
- grafici relativi alle oscillazioni dei livelli piezometrici, atti a permettere l'individuazione dei periodi di massima e minima soggiacenza della falda freatica;
- carte della facies idrochimica delle falde presenti, carte storiche ad isoconcentrazioni delle sostanze ritenute di interesse e del loro andamento nel tempo, al fine di segnalare livelli anomali rispetto ai tenori medi del fondo, sia per le sostanze naturalmente presenti nelle acque sotterranee, che per sostanze di origine antropica, a scala adeguata a rappresentare il sito in oggetto in maniera compiuta e di visualizzazione complessiva;
- parametri idrogeologici dei singoli acquiferi provenienti da studi ed indagini pregresse (prove di pompaggio, prove in foro, ecc.);
- stima dei parametri idrogeologici dei singoli acquiferi (trasmissività e conducibilità idraulica) secondo il metodo Cassan (Cassan, 1980), utilizzando i dati disponibili riportati sulle stratigrafie relativi alle prove di collaudo dei pozzi/piezometri individuati sull'area in esame ed eventualmente presenti sul sito in oggetto.

Nella ricostruzione dello scenario idrogeologico locale, parte significativa sarà svolta in stretta collaborazione con gli Enti pubblici competenti che potranno mettere a disposizione i vari studi disponibili eseguiti precedentemente.

La ricostruzione idrogeologica preliminare dovrà quindi permettere la formulazione di un primo modello concettuale, intendendo con questo termine una schematizzazione idrogeologica semplificata del sottosuolo e una prima parametrizzazione degli acquiferi. In pratica devono essere qui riassunte le proprietà geologiche e le caratteristiche idrogeologiche del sistema, con particolare riferimento ai meccanismi di ricarica degli acquiferi ed ai rapporti tra le falde superficiali e quelle profonde, nonché ai livelli di contaminazione delle acque sotterranee.

Procedendo in modo schematico si tratta quindi di definire una serie di caratteristiche di seguito illustrate.

Presenza di corpi acquiferi

Individuazione delle unità idrogeologiche sede di falde acquifere distinte.

Individuazione dell'estensione in profondità di tali acquiferi.

Definizione delle caratteristiche delle falde individuate (libere/freatiche, semiconfinate, in pressione/artesiane).

Rapporti esistenti tra i diversi

Individuazione di eventuali fenomeni di “passaggio” ovvero di drenanza tra le diverse falde acquifere individuate (comunemente si parla di fattore di fuga e fattore di drenaggio).

Direzioni principali di flusso idrico sotterraneo

Distinte le falde acquifere di interesse dovrà essere definita per ciascuna di esse le direzioni di flusso principale (scala sovracomunale/provinciale).

Eventuali rapporti con corpi idrici superficiali

Individuazione, soprattutto per le falde superficiali/libere, dei rapporti di drenanza e/o di alimentazione con corsi idrici superficiali, laghetti (“specchi” di cava), canali di irrigazione (non impermeabilizzati).

Tipo di utilizzo dei diversi acquiferi

Ricostruzione della distribuzione dei prelievi a scopo idropotabile.

Ricostruzione delle eventuali interferenze indotte sulla morfologia piezometrica da parte dei prelievi (pubblici e/o privati) ubicati in prossimità del sito.

Sensibilità degli acquiferi a fenomeni di contaminazione

In questa fase di caratterizzazione idrogeologica preliminare del sito la sensibilità degli acquiferi a fenomeni di contaminazione deve essere considerata in modo relativo e non assoluto; l'obiettivo è quello di discriminare, tra le falde presenti nel sottosuolo del sito specifico di interesse, quella più vulnerabile a fenomeni di degrado quali-quantitativo, al fine di programmare nel modo più opportuno sia le successive fasi di indagine che di intervento.

Potenzialità degli acquiferi

Prima stima delle potenzialità degli acquiferi individuati sull'area; con tale termine si intende genericamente la valutazione di una serie di parametri idrogeologici (permeabilità, spessore, trasmissività, velocità di deflusso sotterraneo), che esprimono la capacità di un acquifero di produrre in termini di portata di estrazione e/o di favorire il ricambio dell'acqua immagazzinata.

In questa fase di caratterizzazione idrogeologica preliminare del sito la definizione della potenzialità si correla innanzitutto alla valutazione della vulnerabilità degli acquiferi e in secondo luogo ha come obiettivo quello di fornire prime indicazioni sulle tipologie di intervento di disinquinamento attuabili sulla risorsa idrica sotterranea.

La ricostruzione del modello concettuale, unitamente alle informazioni desunte alle stratigrafie dei pozzi dovranno permettere di suddividere in base ai singoli acquiferi captati i punti di captazione (pozzi) o di monitoraggio (piezometri) esistenti nell'area in esame ed eventualmente presenti sul sito in oggetto.

Tale suddivisione dovrà essere la premessa per valutare e organizzare in modo organico i dati censiti (analisi chimiche, piezometrie, parametri idraulici, ecc.) e produrre una caratterizzazione idrogeologica e idrochimica dei singoli acquiferi.

Dovrà infine essere posta particolare attenzione, in caso di presenza di falde sospese, alla definizione della loro estensione, dinamica di alimentazione e di deflusso, stagionalità e descrizione del vettore di moto delle acque, al fine di pervenire ad una chiara ricostruzione di una loro eventuale funzione di dilavamento dei contaminanti contenuti negli strati di terreno interessati e del loro trasferimento in profondità.

1.2. INDIVIDUAZIONE DI SOTTO-AREE OMOGENEE

Come attività immediatamente conseguente la raccolta dei dati pregressi, si dovrà procedere alla sovrapposizione cartografica di informazioni “omogenee”, in modo da poter definire al meglio le successive fasi di indagine diretta.

In particolare, dopo l'uniformazione delle scale cartografiche, dovranno essere eseguite:

- sovrapposizione di cartografie storiche (almeno degli ultimi 100 anni) relative alla strutture del tessuto urbano, residenziale ed industriale, finalizzata ad evidenziare le aree in cui l'utilizzo sia sempre ed esclusivamente stato a fini residenziali ed industriale e confronto con il P.R.G. in vigore nonché verifica con linee di sviluppo immediate da desumere dal P.P.P.A., finalizzata ad evidenziare le aree in cui l'utilizzo sia sempre ed esclusivamente stato a fini residenziali ;
- sovrapposizione di cartografie tematiche relative all'idrologia superficiale, finalizzata ad evidenziare la sua evoluzione per cause antropiche o naturali a scala adeguata a rappresentare il sito in oggetto in maniera compiuta e di visualizzazione complessiva;
- sovrapposizione di cartografie topografiche e/o geomorfologiche, finalizzate ad evidenziare aree di scarico di materiali di diversa origine a scala adeguata a rappresentare il sito in oggetto in maniera compiuta e di visualizzazione complessiva.

Per tale attività si dovranno utilizzare anche foto aeree o altri supporti cartografici o visivi, eventualmente messi a disposizione dagli Enti pubblici (Regione, Provincia, Comuni, ASL).

Mediante la sovrapposizione delle informazioni cartografiche storiche sopra elencate, sarà possibile delineare all'interno del sito perimetrato, delle sub-aree “omogenee” dove definire ed eseguire le successive attività di indagine diretta.

1.3. PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EMERGENZA

Nel caso in cui dalle attività condotte si evidenzia la possibilità di un immediato e reale pericolo per la salute pubblica, la sicurezza anche degli operatori o per i ricettori ambientali sensibili, è necessario che vengano messi in atto interventi correttivi di emergenza finalizzati alla riduzione del rischio immediato.

Tali eventuali interventi rivestiranno carattere di urgenza e dovranno essere approntati secondo quanto previsto dall'art. 17 del D.Lgs. 22/97 e successive integrazioni e modifiche.

In particolare qualora l'intervento di emergenza da realizzare richieda la predisposizione di sbarramento idraulico delle acque di falda mediante la realizzazione di pozzi di spurgo, si potrà fare riferimento a quanto contenuto nel documento della Provincia di Milano "Linee Guida n.2 – Realizzazione delle barriere idrauliche con pozzi di sbarramento delle acque di falda; Novembre 1998".

1.4. ORGANIZZAZIONE E GESTIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE (SIT)

Contemporaneamente alla raccolta dati ed in preparazione all'esecuzione delle indagini preliminari, da parte dei soggetti incaricati della progettazione delle indagini, dovrà essere sviluppato un Sistema Informativo Territoriale (SIT) sul quale rendere disponibili, agli Enti di Controllo, i dati via via acquisiti.

Tale sistema dovrà permettere di gestire tutti i dati inizialmente raccolti e quelli che nelle varie fasi di avanzamento del progetto si renderanno disponibili (ubicazione indagini e campionamenti, analisi chimiche di terreno, delle acque di falda, ecc.) in modo che da parte degli Enti di Controllo sia possibile (anche con l'ausilio di reti tipo Internet) verificare il quadro iniziale disponibile e lo stato di avanzamento degli interventi e delle risultanze ambientali che emergeranno dal proseguo delle attività.

Il sistema dovrà essere così organizzato:

- una Banca Dati informatizzata in cui riversare tutte le informazioni ed i dati raccolti o ricavati nel sito. Tale Banca Dati, di tipo alfanumerico, dovrà consentire l'immagazzinamento, l'interrogazione e la visualizzazione delle informazioni, riguardanti ciascuna area o punto di indagine o di misura di pertinenza del sito e del suo immediato intorno, sia per quanto riguarda le caratteristiche fisiche (area, tipo di punto di indagine, caratteristiche realizzative, stratigrafia, ecc.) che chimiche (dati analitici dei terreni, delle acque, di misure e prove in campo in campo eseguite). Naturalmente i dati analitici e le misure vanno riportate in modo da consentire l'inserimento e la rappresentazione di serie successive di dati (derivanti dal monitoraggio), in modo da permettere la visualizzazione dell'andamento temporale del caso.
- Tutte le informazioni riportate nella Banca Dati dovranno essere georeferenziate, tramite elementi geometrici che si possono ricollegare a punti, linee od aree, al fine di permettere la realizzazione di un SIT dedicato al sito, con cui poter ricostruire in modo automatico carte tematiche di interesse (insediamenti produttivi e loro evoluzione storica, ubicazione dei punti di indagine, piezometrie, distribuzione ed andamento di inquinanti nei terreni e nelle acque, ecc.). Il sistema informativo geografico dovrà permettere l'interrogazione diretta della Banca Dati, e dovrà costituire la base del sistema di controllo degli interventi, in opera e post opera. Per la

visualizzazione delle informazioni presenti nel SIT, si utilizzeranno le basi cartografiche esistenti ed ufficiali, a scale adeguate per la successiva rappresentazione dei tematismi di interesse.

- A partire dalla Banca Dati e dal SIT si valuterà inoltre la necessità di sviluppare modelli matematici adeguati al caso, in grado di visualizzare i fenomeni in atto e simularne gli andamenti nel tempo, sia come progressione naturale del caso (situazione senza interventi) che per la definizione ed il controllo degli interventi di messa in sicurezza e/o bonifica previsti/realizzati nel sito. Tutti i modelli matematici utilizzati, commerciali o sviluppati ad hoc, dovranno essere validati ed approvati da organismi/Enti riconosciuti.

2. PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E PRIORITÀ DI INTERVENTO

2.1. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DI INDAGINI INDIRETTE

Nel caso in cui i dati raccolti non permettano di disporre di una ricostruzione certa sia delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo sia dell'ubicazione dei centri di pericolo connessi alle attività antropiche, a completamento, o integrazione dei dati disponibili, dovranno essere eseguite indagini di tipo indiretto, finalizzate a:

1. ricostruzione di dettaglio della stratigrafia del sottosuolo con particolare riferimento alla continuità dei livelli meno permeabili;
2. validazione del modello concettuale del sottosuolo con particolare riferimento a geometria degli acquiferi;
3. delimitazione nelle tre dimensioni, delle aree di interrimento di rifiuti;
4. individuazione delle aree, con rappresentazione grafica delle stesse su scala idonea, a più alto potenziale di contaminazione con particolare riferimento a composti volatili;

Solo a titolo esemplificativo si riportano alcuni tipi di indagini indirette che potrebbero essere condotte sul sito:

- Rilievi aerofotogrammetrici dedicati;
- Telerilevamento all'infrarosso;
- Rilievi geofisici (SEV, elettromagnetismo, ecc.);
- Analisi del gas interstiziale (S.O.V.).

I risultati di tali indagini dovranno essere utilizzati quale base di lavoro per l'impostazione del piano di indagini dirette.

2.2. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DI INDAGINI DIRETTE

In base alle elaborazioni disponibili dalle attività precedenti dovranno essere progettate le campagne di indagine dirette ed indirette finalizzate a:

- definizione del modello concettuale definitivo del sottosuolo (geometria degli acquiferi e loro parametrizzazione);
- definizione della direzione del flusso idrico sotterraneo e parametrizzazione degli acquiferi;
- caratterizzazione chimica delle varie matrici ambientali considerate (suolo, sottosuolo, acque superficiali, acque sotterranee);
- distribuzione spaziale della contaminazione individuazione nelle varie matrici ambientali (suolo, sottosuolo, acque superficiali, acque sotterranee);
- stime dei volumi coinvolti nella contaminazione;
- stima della massa di contaminante presente;

- raccolta di tutte le informazioni utili per indirizzare i successivi interventi sui terreni e sulle acque di falda.

2.2.1. Ubicazione dei punti di indagine dei terreni

La griglia di indagine deve essere a maglia triangolare avente 75 m di lato. I punti di campionamento e/o misura dovranno essere localizzati in corrispondenza dei nodi (ubicazione sistematica). In considerazione della possibile presenza di infrastrutture o ostacoli eventualmente presenti, è ammessa una tolleranza nell'ubicazione di un punto di indagine, nell'intorno del punto definito dalla griglia.

Una volta definite e tracciate secondo i criteri esposti la griglia di indagine, dovranno essere riportati su opportuna cartografia su base catastale.

La sovrapposizione di tale cartografia a quella riassuntiva dei “centri di pericolo” attuali e pregressi censiti all'interno del sito, e alle varie elaborazioni cartografiche derivanti dall'interpretazione dei risultati delle indagini indirette (con particolare riferimento alle zone di anomalia dei parametri ricercati), permetterà di intensificare la maglia dell'indagine sistematica con i nodi della “maglia ragionata”.

La sommatoria dei nodi della maglia sistematica e della maglia ragionata permetterà di definire la maglia complessiva di indagine dell'area. Risulta evidente che qualora si verifichi la sovrapposizione di due nodi delle diverse maglie, dovrà essere realizzata una unica indagine con le specifiche previste per i nodi della maglia ragionata.

Le indagini effettuate in corrispondenza dei nodi della maglia sistematica dovranno essere spinti almeno ad una profondità tale da raggiungere il terreno naturale in posto, ed approfonditi in caso di particolare evidenze organolettiche oppure a seguito di evidenze derivanti dalle analisi chimiche (superamento dei limiti di accettabilità).

Le indagini effettuate in corrispondenza dei nodi della maglia ragionata (“centri di pericolo”) dovranno essere spinti almeno ad una profondità variabile tra i 5 e 10 metri (in funzione della tipologia e delle caratteristiche del “centro di pericolo”) e comunque a profondità tale da raggiungere il terreno naturale in posto non contaminato.

Gli stessi dovranno essere approfonditi in caso di particolare evidenze organolettiche oppure a seguito di evidenze derivanti dalle analisi chimiche (superamento dei limiti di accettabilità).

A tale scopo risulta necessario che i punti di indagine siano inequivocabilmente indicati in sito con sistemi tipo picchetti provvisti di targhetta indelebile ed inamovibile.

Successivamente alla fase di analisi di laboratorio, sulla base dei risultati da essa ottenuti, si dovrà valutare la necessità di integrare il quadro conoscitivo mediante indagini integrative nell'intorno dei punti in cui le concentrazioni di inquinanti sono tali da rendere necessari interventi di bonifica/messa in sicurezza. Tali indagini integrative dovranno essere finalizzate a definire con precisione l'estensione tridimensionale del fenomeno di contaminazione.

2.2.2. Metodi di perforazione

I metodi di perforazione relativi a ciascun punto di prelievo, possono essere:

- a carotaggio continuo (a rotazione con carotiere, ecc.);
- con mezzi manuali (martello roto-percussore, ecc.);
- con mezzi meccanici di escavazione (benne, ecc.).

La scelta del tipo di perforazione deve essere guidata dalle necessità conoscitive richieste dal singolo caso tenendo conto del tipo di terreno da perforare nonché dalla necessità di conoscere con esattezza la litologia e la sua successione nel sottosuolo o del fondo, di effettuare il prelievo di campioni indisturbati o rimaneggiati di terreno.

In ogni caso dovranno sempre essere adottati tutti gli accorgimenti necessari ad evitare fenomeni di “cross contamination” o contaminazione indotta (perforazione di fusti interrati ecc.) e di perdita di composti contaminanti (ad esempio composti volatili), al fine di disporre di un quadro conoscitivo completo e rappresentativo della distribuzione della contaminazione del terreno nelle tre dimensioni. Il carotaggio deve essere effettuato per quanto possibile a secco utilizzando un carotiere di diametro idoneo evitando fenomeni di surriscaldamento.

In particolare, viene consigliato il metodo di perforazione a percussione con “campionatore a pareti spesse”, per il quale di seguito vengono fornite le specifiche tecniche di realizzazione.

Tipo di indagine:

Carotaggio integrale e rappresentativo del terreno attraversato con percentuale di recupero $\geq 85\%$. Il carotaggio dovrà essere eseguito a secco senza fluido di perforazione o limitandone l'uso al minimo indispensabile;

Modalità esecutive:

Pulizia attrezzature di perforazione:

Al termine di ogni manovra, ovvero prima di iniziare ogni manovra di campionamento, si dovrà procedere alla pulizia delle aste, carotieri, campionatori, tubi di rivestimento, etc. con l'impiego di idropulitrice a vapore ad alta pressione (Q min.: 30 l/min., Pmin.: 100 atm.), allo scopo di rimuovere qualsiasi residuo della manovra precedente;

Rivestimento:

La perforazione dovrà essere seguita dal rivestimento provvisorio del foro senza fluido in circolazione o limitandone l'uso al minimo indispensabile; ogni rivestimento dovrà essere pulito prima della posa come descritto al punto precedente.

Specifiche generali:

Le perforazioni dovranno essere eseguite evitando l'immissione nel sottosuolo di composti chimici estranei adottando i seguenti accorgimenti:

rimozione di lubrificanti dalle zone filettate;

uso di rivestimenti, corone e scarpe non verniciate;

eliminazione di gocciolamenti di oli dalle parti idrauliche di perforazione;

pulizia dei contenitori per l'acqua di perforazione.

Metodo di campionamento:

I campioni dovranno essere prelevati mediante l'utilizzo di campionatori pesanti a percussione, predisposti con fustella interna di contenimento. Il campione così ottenuto dovrà essere diviso in due parti (campione e controcampione) mediante segatura della fustella nella parte mediana e sigillatura della parte scoperta tramite paraffina.

2.2.3. Ubicazione dei punti di indagine delle acque di falda

La proposta di indagine relativamente alle acque di falda dovrà prevedere una serie di piezometri che come numero e localizzazione e profondità, risultino coerenti con il modello concettuale del sottosuolo ricostruito.

In particolare dovranno essere realizzati in modo da permettere di disporre di dati significativi, rappresentativi e dettagliati circa il livello di falda, le sue oscillazioni, l'andamento della superficie piezometrica, la direzione del flusso idrico sotterraneo e il contributo di contaminazione delle acque sotterranee, il gradiente idrochimico ed idraulico verticale, da parte del sito in esame.

A tale scopo può risultare utile che la realizzazione di questa prima serie di piezometri (indicativamente 1 ogni 10 punti di sondaggio), venga condotta in più fasi successive. Infatti dopo la realizzazione dei primi che permetteranno di fornire un inquadramento a scala generale ed una validazione del modello concettuale preliminare del sottosuolo dell'area, si potranno realizzare gli altri piezometri che permetteranno di raggiungere un quadro di dettaglio.

L'ubicazione complessiva degli stessi inoltre dovrà, in particolare, permettere di disporre di punti di monte/valle per le singole "aree omogenee" in modo da poter condurre valutazioni sul contributo di contaminazione delle stesse.

Per quanto riguarda i piezometri di monte, questi dovranno costituire il valore di riferimento delle acque sotterranee in "ingresso" alla singola area oggetto di indagine in modo da risultare idonei a verificare le caratteristiche delle acque di falda immediatamente prima della loro eventuale contaminazione da parte dell'area in esame.

I piezometri dovranno essere spinti almeno in una prima fase sino alla base del primo acquifero individuato o comunque a profondità non inferiori ai 2/3 dello spessore dell'acquifero.

In caso di falde sospese dovranno essere realizzati secondo modalità da concordarsi.

Al fine di validare il modello concettuale del sottosuolo, si dovrà valutare la possibilità di realizzare almeno una serie di piezometri filtranti diversi livelli di acquifero, in modo da verificare la sussistenza di un gradiente idrochimico e/o idraulico verticale. Allo stesso scopo potrà risultare utile procedere alla realizzazione di campioni di acque di falda a diverse profondità, in fase di avanzamento delle perforazioni.

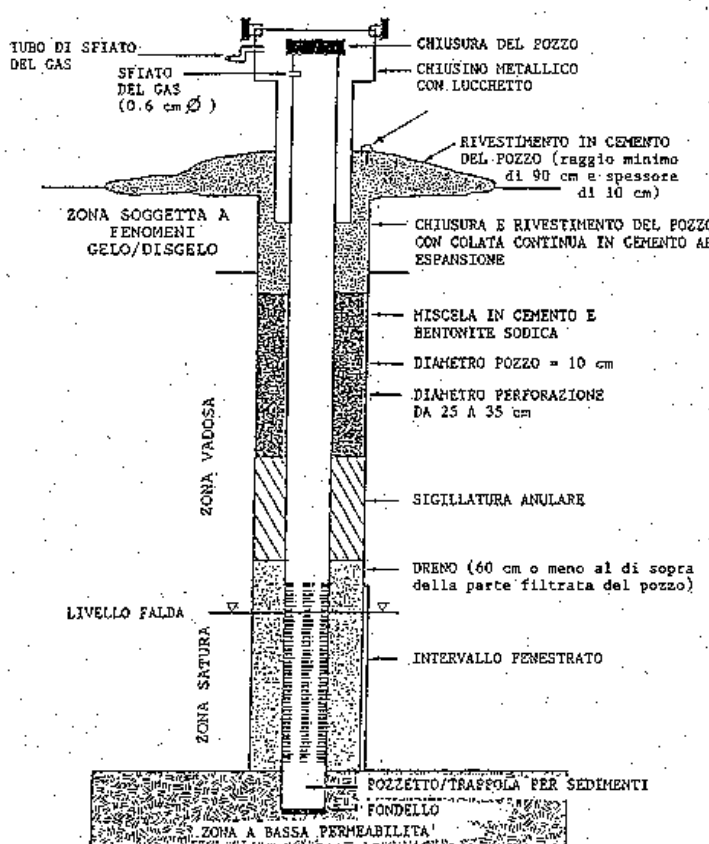
Qualora dai dati disponibili o comunque da quelli via via raccolti, emergano elementi tali da evidenziare la possibilità di contaminazione anche delle falde più profonde, si dovranno realizzare dei piezometri di controllo anche su queste ultime, in modo da poter valutarne il loro stato di qualità.

Inoltre una volta disponibili i dati relativi alle indagini indirette e alla caratterizzazione chimica del terreno non saturo, qualora dall'esame degli stessi emergano situazioni di particolare gravità di contaminazione (per concentrazione, per profondità, per estensione, per vicinanza al livello di falda), in corrispondenza di tali punti, dovranno essere realizzati piezometri di controllo locali, al fine di valutare l'impatto del singolo focolaio sulla qualità delle acque sotterranee e valutare la necessità di predisporre azioni mirate di sbarramento idraulico delle acque di falda e/o di disinquinamento delle stesse.

I piezometri dovranno essere realizzati a carotaggio continuo in corrispondenza della maglia di indagini ed in misura indicativa pari ad 1 piezometro ogni 10 sondaggi, e dovranno essere costituiti da materiali compatibili con gli inquinanti presenti nel sito (devono cioè essere inerti, come l'HDPE in caso di sostanze organiche o il PVC per sostanze inorganiche), devono avere filtri di apertura adeguata in corrispondenza del livello acquifero da controllare della relativa granulometria e devono essere installati secondo lo schema di seguito riportato. Variante a tale schema costruttivo può essere

data dall'ubicazione al di sotto del piano campagna della testa del piezometro il quale dovrà essere fornito di pozzetto di accesso interrato accessibile tramite botola carrabile.

Si specifica infine che le teste dei pozzi e dei piezometri esistenti e/o realizzati dovranno essere opportunamente quotate (precisione 6 0.01 m); sulle teste dovrà essere posto un segnale della quota di riferimento per le misure piezometriche. Sulle teste dovrà inoltre essere apposta apposita targhetta indelebile ed inamovibile riportante la quota altimetrica della testa del pozzo/piezometro ed il codice univoco identificativo dello stesso. Per quanto riguarda il codice ufficiale del pozzo/piezometro, si specifica che lo stesso verrà assegnato dalla Provincia di Milano secondo il seguente criterio: codice a dieci cifre: prime tre cifre = codice ISTAT Provincia; seconde tre cifre = codice ISTAT Comune; ultime quattro cifre = numero progressivo a base comunale.



2.2.4. Modalità del campionamento

La validità dei risultati analitici relativi ad un sito potenzialmente inquinato, e quindi la definizione del suo stato quali-quantitativo e gli interventi da adottare, dipendono in massima parte da un corretto campionamento, stoccaggio e trasporto dei campioni di terreno ed acque, così come è di fondamentale importanza provvedere alla pulizia degli strumenti ed attrezzi utilizzati tra il prelievo di un campione e l'altro, ed anche utilizzare contenitori rigorosamente nuovi ed adatti.

La pulizia delle attrezzature deve essere eseguita con mezzi o solventi compatibili con i materiali e le sostanze di interesse, in modo da evitare fenomeni di contaminazione incrociata o perdita di rappresentatività del campione.

2.2.4.1. Rifiuti/Materiali di riporto

In relazione alla presenza su vaste aree di tali materiali la fase di caratterizzazione dovrà permettere di acquisire sia un quadro conoscitivo rappresentativo del reale stato di contaminazione dei materiali di riporto superficiali, sia informazioni che potranno essere utilizzate per la predisposizione dei successivi interventi di bonifica/messa in sicurezza, smaltimento o recupero.

In corrispondenza dei punti della maglia di indagine dovranno essere pertanto condotti dei campionamenti rappresentativi di orizzonti o porzioni di materiali che per natura, granulometria, evidenze organolettiche, risultino omogenei (ad esempio: ceneri, scorie grossolane, scorie fini, fanghi, macerie di demolizione, materiale terroso, resti ferrosi), fino a comprendere l'intero spessore dei rifiuti e/o dello strato di riporto.

Su ogni singola porzione/orizzonte omogeneo, dovranno essere condotti dei campionamenti (e successive analisi sia come tal quale che come eluato) rappresentativi sia delle frazioni fini che grossolane.

2.2.4.2. Terreni

In corrispondenza dei punti della maglia di indagine dovranno essere prelevati dei campioni puntuali, in modo da disporre di un quadro conoscitivo completo e dettagliato circa lo stato di contaminazione della porzione di terreno indagato.

In particolare per la scelta dei punti di prelievo dei campioni, dovranno essere seguiti i seguenti criteri selettivi di campionamento:

1. evidenze organolettiche di alterazione e/o contaminazione: a supporto di tale criterio può risultare utile procedere ad analisi speditive semiquantitative, anche tramite l'utilizzo di strumentazione analitica di campagna quale ad esempio PID o FID, etc.;
2. livelli di terreno a bassa permeabilità;
3. strati di terreno in posto al letto di accumuli di rifiuti di varia natura.

In assenza o ad integrazione dei criteri sovraesposti, devono essere prelevati, oltre ad un primo campione rappresentativo dello stato di contaminazione del primo metro di terreno, campioni puntuali ogni metro di perforazione e un campione al fondo del sondaggio.

Quando sono oggetto di studio le masse di materiali interrati (discariche), in particolare quando sia prevista la loro rimozione e smaltimento come rifiuto, può essere valido procedere al prelievo e all'analisi di un campione medio di tutto il materiale estratto da ogni posizione di sondaggio.

Un apposito campione dovrà essere prelevato nel caso in cui si debba provvedere alla classificazione granulometrica del terreno, raccogliendo, senza manipolazioni del campione, parte del campione medesimo, ottenuto con il metodo delle quartature come indicato da IRSA-CNR, quaderno 64 del

gennaio '85. L'aliquota del campione da sottoporre ad analisi al fine di determinare il contenuto di inquinanti, dovrà essere confezionato scartando in campo, dopo quartatura, i ciottoli ed il materiale grossolano di diametro maggiore a circa 2 mm.

I campioni che dovranno essere analizzati per la determinazione di inquinanti volatili, dovranno essere prelevati tramite l'ausilio di carotieri provvisti di fustella portacampione che, una volta estratta ed eventualmente divisa per la formazione di controcampioni, dovrà essere sigillata alle due estremità con cera paraffinica.

2.2.4.3. Acque sotterranee

Per quanto riguarda le acque sotterranee, una volta installati ed opportunamente spurgati i piezometri perforati (fino ad ottenimento di acqua chiara e comunque non meno di 2 ore), o altri punti d'acqua presenti, il campionamento, che deve essere svolto dopo aver estratto dal punto di prelievo un volume d'acqua pari da 3 a 6 volte il volume del punto stesso e comunque sino a chiarificazione, può realizzarsi attraverso:

- prelievo diretto con contenitore da inviare al laboratorio, in vetro o PE, con controtappo e tappo a tenuta;
- campionatori tipo bailers, a galleggiante, in Teflon o PE o PVC, con cui riempire poi il contenitore idoneo;
- campionatori pneumatici, anche di tipo selettivo;
- pompe a vuoto o pompe sommerse, a seconda della profondità di prelievo.

La scelta del metodo di campionamento dipende da fattori come la profondità di prelievo e il tipo di sostanze da analizzare, ma è molto importante considerare che in un sito si devono usare lo stesso metodo, gli stessi strumenti e gli stessi tipi di contenitori, in modo da poter garantire la rappresentatività ed il confronto dei dati analitici.

Per quanto riguarda i contenitori, anche in questo caso devono essere rigorosamente nuovi e devono garantire la tenuta del sistema; i metodi di conservazione e di spedizione al laboratorio sono gli stessi già indicati per i terreni, ma nel caso delle acque si devono aggiungere alcune operazioni mirate a permettere la conservazione della qualità "chimica" del campione stesso, specialmente per alcune specie inorganiche come metalli o anioni/cationi, come specificato nel DPR 236/88.

Infine si specifica che per quanto non precedentemente si farà riferimento alle norme ISO (5667-11.1993) relative al campionamento delle acque sotterranee.

2.2.5. Preparazione del campione da inviare ad analisi

La formazione dei campioni deve avvenire al momento del campionamento del materiale (terreno e acque) in modo da impedire la perdita di rappresentatività "chimica" del campione stesso: a questo proposito, la pratica di riporre, per i terreni, il materiale estratto in cassette regolatrici e procedere successivamente alla formazione del campione è da ritenersi attuabile solo per la determinazione di quei parametri con caratteristiche di stabilità, avendo comunque cura di operare sulla parte interna del materiale campionato.

Nella formazione del campione di terreno da inviare all'analisi occorre tenere presente alcuni accorgimenti:

- identificare e scartare materiali estranei che possono alterare i risultati finali (pezzi di vetro, ciottoli, rami, foglie, ecc.), indicandoli opportunamente nel rapporto di campionamento;

- suddividere il campione in più parti omogenee adottando metodi di quartatura riportati nella normativa;
- suddividere infine il campione nelle due frazioni granulometriche <80 mesh e >80 mesh.

Nel caso si renda necessaria l'analisi di composti organici volatili, tali procedure vanno evitate ed il campione prelevato dalla carota, senza alcuna manipolazione, va posto in idonei contenitori a tenuta.

Per quanto riguarda i campioni di acqua al momento della raccolta del campione, il contenitore ed il contro tappo vengono sciacquati alcune volte (almeno tre) con il fluido da campionare. La quantità di acqua da campionare è dipendente dal numero e dal tipo di parametri da analizzare, e comunque è sempre opportuno prelevare non meno di 2 litri di acqua, in due contenitori diversi da 1 litro di capacità cadauno.

All'atto della raccolta del campione va posta molta cura nell'eliminare le eventuali bolle d'aria presenti, il contenitore deve essere riempito in modo tale che tra il pelo libero e il controtappo resti intrappolata la minore quantità d'aria possibile.

2.2.6. Scelta del contenitore, trasporto e conservazione

La scelta del contenitore in cui riporre il campione va effettuata in funzione delle caratteristiche dell'inquinante. Nei casi di inquinanti organici sono da utilizzarsi contenitori in vetro, scuro per i campioni d'acqua, a chiusura ermetica; per i campioni destinati alla ricerca di metalli sono più indicati contenitori in polietilene. I contenitori dovrebbero essere completamente riempiti di campione, sigillati, etichettati ed inoltrati subito al laboratorio di analisi, insieme con le note di prelevamento.

Ciascun campione prelevato in campo, sia di terreno che di acqua, va mantenuto al fresco (circa 4° C) e possibilmente al buio, anche mediante l'utilizzo di contenitori frigoriferi portatili, e trasferito al laboratorio di analisi entro 24/36 ore dal prelievo. In particolare per quanto riguarda i campioni di acqua, vanno eseguite in campo alcune operazioni di pretrattamento e stabilizzazione mirate ad una loro corretta conservazione per il mantenimento della rappresentatività "chimica"; sarà in tal caso da eseguire l'aggiunta di sostanze conservanti, non in grado comunque di interferire nelle analisi.

2.2.7. Campioni di bianco di riferimento

Sono campioni prelevati in aree non inquinate circostanti l'area contaminata ed aventi analoghe caratteristiche geologiche/pedologiche, idrogeologiche o idrologiche. Tali campioni servono per verificare se la concentrazione di un contaminante differisce rispetto a quelle naturalmente presenti nel sito. Nel caso di campionamento di suoli, la profondità ed il tipo di terreno da campionare dovrebbe corrispondere a quelli degli altri campioni raccolti. Il numero dei campioni varierà in funzione delle caratteristiche dell'area (densità abitativa, presenza di attività industriali e/o agricole, presenza di strade, autostrade ecc.) nonché delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area (presenza di differenziazioni litologiche, presenza di faglie etc) ma non dovrà comunque essere inferiore a n.3 campioni, prelevati nell'intorno del sito in questione. Tali campioni di bianco di riferimento andranno anch'essi suddivisi nelle due frazioni granulometriche: <80 mesh e >80 mesh. Inoltre, come sugli altri campioni di suolo prelevati, anche sui campioni di bianco di riferimento dovranno essere effettuate analisi di eluibilità.

2.2.8. Criteri necessari per il controllo della qualità delle operazioni di campionamento

Ai fini di garantire il controllo e la qualità delle operazioni di campionamento è opportuno predisporre una appropriata documentazione delle attività di campionamento che consenta la rintracciabilità dei campioni prelevati dal sito e inviati presso il laboratorio di analisi; tale documentazione deve includere anche le azioni di controllo delle attività svolte in campo ed in laboratorio.

Di seguito si riporta una sintesi dei punti che entreranno a far parte della documentazione:

- registro per la raccolta organizzata delle informazioni di campo (localizzazione del sito, tempistica delle operazioni svolte, scopo delle attività e quant'altro serve a descrivere univocamente le operazioni svolte);
- misure di sicurezza per gli operatori (rischio di contatto con gli inquinanti, rischio di ingestione accidentale, rischio da inalazione, rischi dovuti alle attrezzature utilizzate, rischio dovuto a radiazioni, ecc.) ed equipaggiamento di sicurezza necessario;
- decontaminazione dell'attrezzatura di campionamento (modalità e sostanze utilizzate);
- quantità del campione da raccogliere commisurata al numero ed alla tipologia dei parametri da determinare (e quindi delle metodologie analitiche da adottare);
- identificazione univoca dei campioni (data, ora e luogo di prelievo, denominazione del campione, profondità e temperatura di campionamento, analisi richiesta) e dati relativi ai contenitori (materiale, capacità, sistema di chiusura, grado di pulizia);
- modalità di conservazione, trasporto e movimentazione dei campioni;
- etichettatura dei campioni, tramite apposizione di cartellini con diciture annotate con penna ad inchiostro indelebile, da riportare sul verbale di campionamento che potrà essere redatto in analogia con quanto previsto dalla normativa in materia di rifiuti;
- protocollo di campionamento ed analisi (descrizione delle procedure di campionamento e di analisi);
- catena di custodia indicante anche il responsabile delle singole operazioni connesse al campionamento e all'analisi;
- modalità di presentazione ed archiviazione dei dati.

Al fine di permettere la validazione analitica del dato fornito da parte privata, tutti i campioni devono essere prelevati almeno in doppio alla presenza dei tecnici degli Enti di Controllo. Su tali controcampioni gli Enti si riservano di procedere all'analisi chimica di una aliquota del 10%.

Le spese di prelievo dei controcampioni e delle analisi da parte del laboratorio pubblico, sono a carico del Privato.

Per quanto riguarda l'effettuazione dei controcampioni si dovrà procedere con largo anticipo ad accordi preventivi con il laboratorio pubblico di riferimento che deve necessariamente prevedere una programmazione delle campagne di analisi necessarie.

2.3. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DI ANALISI DI LABORATORIO

Le analisi di campioni di suolo andranno condotte, in special modo per la ricerca degli inquinanti inorganici (metalli), sia sulla frazione di suolo di granulometria < 80 mesh sia su quella a

granulometria > 80 mesh. E' inoltre sempre necessario effettuare, in special modo nel caso di contaminazione inorganica, un test atto a valutare il rilascio/disponibilità ambientale dei parametri d'interesse. Salvo diverse disposizioni, si potrà utilizzare come soluzione estraente acqua deionizzata satura di CO₂; il tempo di contatto solido/liquido non potrà essere inferiore alle 24 ore ed il rapporto liquido/solido dovrà essere compreso tra 1:10 più altri test che meglio riproducano le condizioni ambientali quali ad esempio il test di cessione di cui all'Allegato 3 del D.M. 5/8/98 ed un altro test condotto con soluzione estraente acidula.

Nell'esecuzione delle analisi dovranno essere comunque rispettate le seguenti prescrizioni:

- le analisi di laboratorio devono essere effettuate nel più breve tempo possibile dal momento del prelievo;
- deve essere redatta una relazione indicando, per ogni parametro analizzato, i metodi usati ed i relativi limiti di rilevabilità (i limiti di rilevabilità dovranno essere almeno 1 ordine di grandezza inferiori ai limiti tabellari);
- i metodi di analisi dovranno essere metodi ufficiali riconosciuti a livello internazionale;
- devono essere sempre effettuate analisi di controllo di campioni a concentrazione nota (campioni di riferimento standard) individuando le percentuali di recupero;
- i laboratori di analisi devono essere accreditati o avere la pratica di accreditamento in corso ai sensi delle norme UNI CEI 45001, per tutte le matrici da analizzare e per tutta la catena analitica (dal prelievo alla restituzione dei dati analitici);
- un numero di campioni pari ad almeno il 10% dei campioni analizzati dovrà essere validato in laboratori di riferimento;

Risulta comunque necessario che eventuali scelte alternative, vengano esplicitate chiaramente e fondatamente provate, evidenziando benefici ottenuti rispetto ai metodi proposti nonché il miglioramento della qualità dei dati analitici.

2.3.1. Parametri chimici da analizzare

Per ciascun punto di indagine e per i diversi comparti ambientali (suolo, sottosuolo, materiali di riporto e acque sotterranee) dovranno essere definiti, unitamente agli Enti preposti, i parametri da ricercare, innanzitutto in funzione della tipologia del sito in esame e delle attività lavorative in esso condotte. A tale scopo può risultare utile la consultazione del foglio elettronico "VICTORIA" predisposto dalla Provincia di Milano che offre indicazioni circa i composti chimici associati ai diversi tipi di attività produttive.

2.3.2. Elaborazione ed interpretazione dei dati analitici

I risultati delle determinazioni analitiche di laboratorio devono essere espressi sotto forma di tabelle di sintesi, distinte per ciascun campione analizzato, in cui oltre alla lista dei parametri ricercati ed ai relativi valori, vanno riportati:

- codice identificativo del campione;
- data di prelievo del campione;
- data di esecuzione delle analisi di laboratorio;
- unità di misura;
- valori normativi di riferimento per ciascuna sostanza analizzata;
- metodo di prelievo e conservazione campione;

- metodi di trattamento ed analitici utilizzati;
- limite di rilevabilità analitica e strumentale.

I risultati analitici dovranno essere trasmessi agli Enti preposti, oltre che in forma di bollettino analitico ufficiale del laboratorio incaricato, anche in forma tabellare, su supporto cartaceo e su dischetto, elaborati in idoneo formato elettronico per l'inserimento nel Sistema Informativo Generale.

2.4. DEFINIZIONE E GESTIONE DEL MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Dovrà essere predisposto un protocollo di monitoraggio piezometrico ed idrochimico delle sub-aree in esame che dovrà rispondere a tre obiettivi:

1. raccolta dati idrochimici per la valutazione dell'evoluzione dei fenomeni di inquinamento;
2. definizione modalità di deflusso delle acque sotterranee ed escursione dei livelli piezometrici (a tale scopo potrebbe risultare utile prevedere l'installazione nell'area di due sonde automatiche per la rilevazione in continuo dei livelli piezometrici);
3. controllo della efficienza ed efficacia degli eventuali interventi di emergenza realizzati;
4. controllo sull'efficienza dei vari interventi di messa in sicurezza e/o bonifica effettuati.

Tale protocollo dovrà essere esaustivo relativamente a:

- punti di analisi e di misura;
- tipo di misure e parametri da analizzare;
- cadenza temporale dei rilevamenti;
- modalità di validazione dei dati acquisiti dalla Parte;
- durata del monitoraggio complessivo.

Tale sistema di monitoraggio dovrà articolarsi in sottoreti omogenee secondo le caratteristiche idrogeologiche del singolo sito considerato.

In particolare, conseguentemente all'organizzazione dei dati, dovranno essere identificate delle distinte reti di monitoraggio "omogenee", comprendenti punti che captano un'unica falda.

Relativamente all'acquifero più superficiale dovrà essere condotta una campagna di rilevamento dei livelli piezometrici sui punti della rete sopra identificata; nel caso in cui venissero rilevate per gli acquiferi più profondi particolari anomalie delle caratteristiche qualitative delle acque per la presenza di sostanze connesse inequivocabilmente ad attività antropiche, dovrà essere condotta una specifica campagna di rilevamento piezometrico anche per tali falde.

Tali attività dovranno permettere infatti di aggiornare, rispetto a cartografie storiche disponibili, il quadro delle conoscenze idrogeologiche sull'area, con particolare riferimento al livello di dettaglio richiesto dal problema in esame.

2.4.1. Monitoraggio piezometrico

La campagna di rilevamento piezometrico della falda superficiale e le eventuali campagne piezometriche delle falde più profonde dovranno essere condotte nel rispetto di alcuni fondamentali criteri, al fine di rendere i dati acquisiti realisticamente rappresentativi e facilmente interpretabili.

La scelta del periodo di esecuzione delle campagne piezometriche dovrà essere opportunamente valutata in relazione all'andamento delle oscillazioni piezometriche evidenziate dalla ricostruzione idrogeologica preliminare (raccolta storica dei dati), in modo da essere, fermo restando la discrezionalità del professionista nella scelta dello specifico periodo, collocabile in modo preciso nel trend di oscillazione osservato e descritto sull'area di indagine.

Nel caso in cui dalla ricostruzione idrogeologica preliminare (raccolta storica dei dati) venissero rilevati fenomeni di notevole entità nella variazione della direzione di flusso idrico sotterraneo, dovranno essere valutati gli effetti del fenomeno sull'area di interesse e predisporre nel caso più campagne piezometriche rappresentative delle diverse situazioni.

L'identificazione della/e rete/i di monitoraggio piezometrico rispetto ai punti disponibili dovrà essere condotta in modo tale da fornire il maggior dettaglio in corrispondenza del sito di interesse.

Le indicazioni operative che devono essere rispettate sono:

- i pozzi/piezometri della rete devono possedere riferimenti altimetrici (m s.l.m.) ai quali riferire i livelli di falda misurati, nel caso in cui non si conoscesse tale informazione ciascun punto dovrà essere opportunamente quotato rifacendosi al caposaldo di riferimento altimetrico più prossimo;
- le campagne di rilevamento piezometrico predisposte dovranno essere portate a termine in un arco di tempo ridotto, in funzione del numero di punti oggetto di misurazione e delle dimensioni dell'area sulla quale si indaga;
- le misurazioni del livello piezometrico devono essere rappresentative delle condizioni statiche e/o semistatiche delle falde, pertanto non si dovranno prendere in considerazione pozzi in attività e sui quali non è possibile interrompere l'emungimento; degli stessi ne dovrà essere data specifica nota;
- per misurazioni su piezometri esistenti è necessario verificare la funzionalità dei medesimi e accertare che il livello misurato sia realmente rappresentativo del livello di falda captata;
- nel caso in cui la falda e/o le falde che devono essere monitorate siano le stesse captate da centrali di pompaggio acquedottistiche e/o da pozzi di centri produttivi posti all'interno dell'area in esame e/o in prossimità del sito in oggetto, dovranno essere valutati gli effetti di tali emungimenti in relazione alle conseguenti deformazioni prodotte sui reticoli di flusso idrico sotterraneo.

2.4.2. Monitoraggio idrochimico

Il monitoraggio idrochimico dovrà essere finalizzato alla ricostruzione di un quadro qualitativo delle risorse idriche sotterranee di pertinenza dell'area in esame e quindi la definizione degli effetti sulla risorsa idrica sotterranea dell'area in oggetto.

Tale obiettivo viene raggiunto predisponendo appunto dei sistemi di controllo e monitoraggio della qualità delle acque mediante l'esecuzione di pozzi e/o piezometri.

Con particolare riferimento alle acque sotterranee l'U.S.E.P.A. considera un sistema di monitoraggio "come costituito da un sufficiente numero di pozzi, installati in posizioni e profondità idonee, per fornire campioni rappresentativi dei singoli acquiferi, in modo tale che si possa riconoscere la qualità originaria delle acque sotterranee, a monte della zona di indagine, e quella eventualmente degradata dalla presenza di contaminanti a valle della zona".

Predisponendo un sistema di monitoraggio concepito secondo tale criterio è possibile determinare il “ ΔC ”, ovvero il contributo di concentrazione per singola sostanza da parte del sito in esame nelle acque sotterranee.

Una volta formulata ed acquisita una caratterizzazione geologica ed idrogeologica di dettaglio del sito e individuata l'ubicazione dei potenziali o effettivi centri di pericolo al suo interno, dovrà essere definito un numero minimo di punti di controllo, che risulterà quindi proporzionato alla complessità ed eterogeneità idrogeologica del sito e alla distribuzione dei potenziali focolai.

Spesso i punti di indagine eseguiti nella fase di caratterizzazione idrogeologica preliminare del sito possono essere utilizzati anche come punti di controllo delle caratteristiche qualitative delle acque di falda.

Dovrà essere accortezza del progettista, l'aver definito la posizione dei punti dell'indagine preliminare anche con la prospettiva di una loro idoneità per la successiva fase come punti di controllo qualitativo.

Quindi per l'ubicazione di punti di controllo delle acque sotterranee in un'area caratterizzata dalla presenza di sostanze contaminanti, o per un'area di cui si vuole accertare l'eventuale impatto sulla risorsa idrica sotterranea, si dovranno predisporre:

- punti di controllo a monte, estesi fino alla possibile zona di influenza dell'area contaminata, i quali devono permettere l'identificazione della composizione originaria delle acque sotterranee;
- punti di controllo a valle, posti nell'area direttamente influenzata da eventuali flussi idrici provenienti dal sito in esame, che devono attingere dalla stessa falda dei pozzi a monte;

Tale schema di approccio al problema si applica all'intera area oppure a porzioni omogenee della stessa, delle quali risulta necessario stabilire i singoli potenziali contributi di contaminazione in falda.

Inoltre nella scelta della collocazione dei pozzi di monitoraggio è necessario tenere in considerazione:

- le caratteristiche chimico fisiche delle sostanze inquinanti, che controllano la loro mobilità e distribuzione;
- i fattori idrogeologici locali, quali l'uso delle acque e particolari modalità di alimentazione della falda.

Dato lo scopo per il quale vengono realizzati i pozzi di monitoraggio, una particolare importanza riveste la scelta della profondità e della lunghezza dei tratti fenestrati, per fornire al sistema di monitoraggio la possibilità di valutare il trasporto tridimensionale degli inquinanti nell'acquifero indagato. A tal fine può risultare utile predisporre pozzi fenestrati in corrispondenza dei livelli di circolazione idrica preferenziale, per ottenere un'evidenza immediata del rilascio di contaminanti da parte della sorgente e delle loro modalità di propagazione.

2.5. CARATTERIZZAZIONE TRIDIMENSIONALE DELLO STATO DI QUALITÀ DELL'AREA

Al termine delle attività di indagine di campo e di laboratorio, deve essere redatto un rapporto di caratterizzazione ambientale del sito, in cui siano illustrati:

- i caratteri antropici, litologici ed idrogeologici dell'area e del suo immediato intorno;
- il modello concettuale litologico e idrogeologico dell'area;

- lo stato di qualità del sito, in termini di presenza e distribuzione spaziale delle singole sostanze inquinanti presenti nei diversi comparti ambientali, in confronto ai valori di riferimento predefiniti, con la valutazione di situazioni di rischio per l'ambiente o per la salute umana (hot spot);

I risultati delle attività di campo e di laboratorio, oltre ad essere caricati sul sistema informativo devono essere restituiti sotto forma di bollettini analitici ufficiali ed espressi sotto forma di tabelle di sintesi e di rappresentazioni cartografiche, tra cui devono essere realizzate, come minimo:

- carta/e di ubicazione delle potenziali fonti di inquinamento;
- carta/e dell'ubicazione delle indagini svolte e dei punti di campionamento e/o misura, con distinzione tipologica;
- sezioni geologiche/idrogeologiche rappresentative del quadro litostratigrafico del sottosuolo;
- carta/e piezometrica/che, con evidenziazione degli assi di flusso e dei punti di misura utilizzando anche punti esterni all'area idrogeologicamente omogenei in numero congruo;
- carta/e di distribuzione degli inquinanti, sia in senso areale che verticale, secondo serie temporali diverse (omogenee), quando e dove possibile;
- carta/e di ubicazione dei potenziali bersagli dell'inquinamento.

In base a tali elaborazioni, dovrà essere ricostruita la dinamica dell'evento di contaminazione riscontrato per le varie matrici ambientali. Ciò risulta di particolare importanza al fine di predisporre una lista delle priorità di interventi sul sito, valutare la necessità di interventi di emergenza, predisporre nuove campagne di indagine ed infine organizzare correttamente il progetto di bonifica/messa in sicurezza.

Al fine di avere le migliori possibilità di definizione dello stato qualitativo dell'area le rappresentazioni dei dati e delle elaborazioni relative dovranno essere eseguite, oltreché in forma cartografica bidimensionale, anche mediante ricostruzioni tridimensionali (stereogrammi) attraverso idonei software di contouring e di rappresentazione tridimensionale quali ad esempio ARCHINFO o MapInfo.

Tutti i risultati analitici ricavati nel corso dell'indagine costituiscono la base di dati a cui riferirsi per la ricostruzione della situazione qualitativa del sito in oggetto, e saranno inseriti nel Sistema Informativo predisposto. In considerazione della quantità significativa di dati che saranno raccolti o misurati, oltre alla valutazione dei singoli punti di indagine e campionamento, si ritiene necessario adottare metodi di analisi statistica in grado di evidenziare elementi/andamenti anomali della situazione qualitativa rilevata in termini, soprattutto, ma non solo, di:

- numero/percentuale di campioni in cui la concentrazione delle sostanze ricercate sia superiore al limite analitico;
- numero/percentuale di campioni in cui la concentrazione delle sostanze ricercate sia superiore al limite di accettabilità di riferimento;
- valori minimi, massimi e medi rilevati, deviazione standard;
- distribuzione percentuale delle concentrazioni osservate;
- concentrazione al 95° percentile, anche lognormale;
- caratterizzazione delle concentrazioni in falda tra monte e valle di un'area contaminata e differenza tra i valori di fondo rispetto a quelli rilevati nell'area contaminata.

L'analisi statistica dei dati analitici è inoltre indispensabile nel caso in cui si applichi l'analisi di rischio sul sito, in quanto da essa dipendono le concentrazioni di partenza da utilizzare nei sistemi di calcolo/confronto, o quando sia necessario implementare modelli matematici di simulazione.

Per l'eventuale applicazione dell'analisi di rischio si dovrà procedere ad effettuare nell'eluato anche test di tossicità generica (es. Microtox) e tossicità specifica (es. Daphna Magna).

2.6. DEFINIZIONE DELLE PRIORITÀ DI BONIFICA PER LE RISPETTIVE SOTTOAREE

Una volta disponibile il quadro di caratterizzazione dello stato di contaminazione del suolo e del sottosuolo, in funzione della gravità del fenomeno e dei rischi indotti dallo stesso relativamente alla popolazione e all'ambiente circostante, dovrà essere definita una lista di priorità delle aree o porzioni di esse da sottoporre agli interventi di bonifica.

2.7. TEMPI DI REALIZZAZIONE E CALENDARIO DELLE ATTIVITÀ

La relazione tecnica e documentale relativa alla fase di perimetrazione e la proposta di piano di indagine ambientale (da sottoporre all'approvazione degli Enti competenti) dovrà essere consegnata entro la scadenza prevista dagli Enti competenti.

Le risultanze del Piano di indagine ambientale comprensivo di tutte le elaborazioni richieste dovranno essere consegnate a tutti gli Enti competenti entro la scadenza prevista dagli Enti competenti a partire dalla data di approvazione dello stesso Piano di indagine.

Il piano di indagine deve inoltre contenere indicazioni dettagliate relative allo sviluppo temporale delle attività, indispensabile per l'effettuazione dei controlli di verifica da parte degli Enti competenti.

Bibliografia

AA. VV. - *Guida al disinquinamento degli acquiferi*, Vol. 1 Pitagora Editrice Bologna, 1994

ASTM - *Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*, American Society for Testing and Materials, Standard Guide E 1739-95, 1995

Beretta G.P. - *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*, Pitagora Editrice Bologna, 1992

Chiesa G. – *Inquinamento delle acque sotterranee*, Hoepli Editore, 1988

de Fraja Frangipane E., Andreottola G., Tatàno F. - *Terreni contaminati*, C.I.P.A. Editore, 1994

Geo Fluid – *Metodologie per il disinquinamento delle acque sotterranee*, atti del convegno, Piacenza 9 Ottobre 1992

Lecomte P., Mariotti C. - *Handbook of diagnostic procedures for petroleum-contaminated site*; Wiley & Sons, 1997

Manuale UNICHIM n.175 - *Suoli e falde contaminati* – Tecnologie di indagine e di bonifica; Linee Guida, UNICHIM, 1994