

APPENDICE 2

LINEE GUIDA PER LE PROCEDURE TECNICHE DEGLI INTERVENTI

INDICE

Premessa	2
1 Misure di Prevenzione e di Messa in Sicurezza d’Emergenza	3
1.1 <i>Rimozione di rifiuti ammassati in superficie</i>	3
1.2 <i>Svuotamento di vasche, bidoni, container contenenti sostanze potenzialmente pericolose</i>	5
1.3 <i>Raccolta di liquidi sversati, drenaggi.....</i>	5
1.4 <i>Copertura o impermeabilizzazione temporanea di suoli e fanghi contaminati.....</i>	6
1.5 <i>Installazione di recinzioni, segnali di pericolo e altre misure di sicurezza e sorveglianza</i>	7
2 Indagini preliminari.....	8
3 Caratterizzazione.....	9
3.1 <i>Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito.....</i>	9
3.2 <i>Piano di indagini</i>	10
3.2.1 <i>Indagini indirette.....</i>	10
3.2.2 <i>Indagini dirette</i>	11
3.3 <i>Rappresentazione dello stato di contaminazione ed elaborazione del Modello Concettuale Definitivo (MCD)</i>	14
4 Caratterizzazione di discariche.....	15
5 Analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica	17
5.1 <i>Concetti e principi base.....</i>	17
5.2 <i>Parametri principali.....</i>	19
5.2.1 <i>Punto di conformità</i>	19
5.2.2 <i>Criteri di accettabilità del rischio cancerogeno e dell'indice di rischio</i>	19
5.2.3 <i>Procedure di calcolo e stima del rischio.....</i>	20
5.2.4 <i>Procedura di validazione.....</i>	20
6 Bonifica.....	21
6.1 <i>Classificazione delle tecnologie di bonifica</i>	21
6.2 <i>Principali tecnologie applicabili alla matrice suolo</i>	22
6.2.1 <i>Trattamenti in situ</i>	22
6.2.2 <i>Trattamenti ex situ</i>	24
6.3 <i>Principali tecnologie applicabili alla matrice acque sotterranee e superficiali</i>	27
6.3.1 <i>Trattamenti biologici in situ.....</i>	27
6.3.2 <i>Trattamenti chimico fisici in situ</i>	28
7 Tecnologie di bonifica applicabili ai siti pubblici inseriti in anagrafe	32
7.1 <i>Tecnologie di bonifica applicabili alle discariche</i>	32
7.2 <i>Tecnologie di bonifica applicabili ai sedimenti marini e lacustri.....</i>	33
8 Ripristini ambientali.....	35
9 Matrice di screening per la selezione delle tecnologie di bonifica	37
10 Modalità di smaltimento dei materiali da asportare.....	40

Premessa

Nella presente appendice vengono fornite indicazioni di carattere generale sulle modalità per l'esecuzione degli interventi previsti dal Titolo V della parte IV del D.Lgs.152/06 ss.mm.ii., a partire dalla adozione delle prime misure di prevenzione e messa in sicurezza d'emergenza, per arrivare sino agli interventi di bonifica e di ripristino ambientale.

Nella descrizione delle diverse tipologie di intervento si è cercato anche di fare riferimento alle situazioni più frequentemente riscontrate in Regione Campania, così come emergono dalla disamina dei diversi elenchi in cui è articolato il presente Piano.

1 MISURE DI PREVENZIONE E DI MESSA IN SICUREZZA D'EMERGENZA

L'articolo 240 comma 1 lett. i) del D.Lgs. n.152/2006 e ss.mm.ii. definisce le “misure di prevenzione” come le “iniziative per contrastare un evento, un atto o un'omissione che ha creato una minaccia imminente per la salute o per l'ambiente, intesa come rischio sufficientemente probabile che si verifichi un danno sotto il profilo sanitario o ambientale in un futuro prossimo, al fine di impedire o minimizzare il realizzarsi di tale minaccia”.

Tali misure devono essere adottate a seguito del verificarsi di un evento in grado di contaminare, o quando si accerti la presenza di contaminazioni storiche.

L'articolo 240 comma 1 lett. m) del D.Lgs. n.152/2006 e ss.mm.ii. definisce la “messa in sicurezza d'emergenza” come “ogni intervento immediato o a breve termine, da mettere in opera nelle condizioni di emergenza di cui alla lettera t) in caso di eventi di contaminazione repentini di qualsiasi natura, atto a contenere la diffusione delle sorgenti primarie di contaminazione, impedirne il contatto con altre matrici presenti nel sito e a rimuoverle, in attesa di eventuali ulteriori interventi di bonifica o di messa in sicurezza operativa o permanente.”

A maggiore chiarimento delle condizioni di emergenza, la sopracitata lettera t) del comma 1 dell'art. 240 del D.Lgs. n.152/2006 e ss.mm.ii. fornisce alcuni esempi che non devono essere considerati esaustivi, quali:

- concentrazioni attuali o potenziali dei vapori in spazi confinati prossime ai livelli di esplosività o idonee a causare effetti nocivi acuti alla salute;
- presenza di quantità significative di prodotto in fase separata sul suolo o in corsi di acqua superficiali o nella falda;
- contaminazione di pozzi ad utilizzo idropotabile o per scopi agricoli;
- pericolo di incendi.

Le misure di prevenzione e di messa in sicurezza di emergenza sono finalizzate a prevenire o, laddove ciò non sia più possibile, ad evitare la diffusione dei contaminanti nelle matrici ambientali adiacenti e ad impedire il contatto diretto della popolazione con la contaminazione presente. L'adozione di tali misure deve essere effettuata tempestivamente ogni qualvolta si verifichi un evento potenzialmente in grado di contaminare o si sia in presenza di una contaminazione storica.

Trattandosi di misure da adottare in situazioni di urgenza, e quindi in assenza di dati specifici, le tipologie di intervento da mettere in atto saranno definite in base ad ipotesi cautelative ed avranno principalmente lo scopo di :

- Eliminare e/o contenere le fonti primarie di contaminazione;
- Eliminare e/o contenere liquidi contaminanti in sospensione o non contenuti;
- Limitare e/o mitigare la diffusione della contaminazione nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque di falda;
- Inibire l'accesso di personale non autorizzato alle aree sospette e/o potenzialmente contaminate;
- Limitare e/o contenere la emissione di vapori nell'atmosfera.

In ogni caso, una volta adottate le misure di prevenzione o di messa in sicurezza di emergenza, dovranno sempre essere previste idonee attività di monitoraggio e controllo, al fine di verificare il permanere della loro efficacia nel tempo, in attesa che vengano adottati gli interventi di bonifica veri e propri.

Nel seguito si riporta una breve descrizione delle principali tipologie di interventi di messa in sicurezza che riguardano generalmente:

- rimozione di rifiuti ammassati in superficie;
- svuotamento di vasche, bidoni, container contenenti sostanze potenzialmente pericolose;
- raccolta di liquidi sversati, drenaggi;
- copertura o impermeabilizzazione temporanea di suoli e fanghi contaminati;
- installazione di recinzioni, segnali di pericolo ed altre misure di sicurezza e sorveglianza.

1.1 Rimozione di rifiuti ammassati in superficie

Nel caso di interventi di rimozione di rifiuti in superficie la scelta delle modalità operative attuabili è correlata a diversi fattori quali:

- quantitativo di rifiuti presenti;
- natura e stato dei rifiuti;
- tipologia di interfaccia rifiuti-sottofondo;

- eventuale presenza di bersagli e relativa vulnerabilità;
- altri eventuali fattori specifici.

Le tecniche di rimozione dovranno essere tali da limitare il più possibile fenomeni di propagazione dell'inquinamento verso i bersagli circostanti e dunque dovranno essere tali da limitare:

- emissione di polveri;
- formazione di aerosols;
- emissione di odori;
- sversamento di liquidi;
- altri eventi indesiderati.

A tal fine, dovranno essere previste misure mitigative, se ritenute utili e non dannose, finalizzate a contenere gli impatti dovuti alle attività di rimozione, come, a titolo di esempio:

- umidificazione/incapsulamento/imballaggio dei rifiuti presenti atti a minimizzare la diffusione di polveri;
- utilizzo di attrezzature meccaniche di potenza idonea rispetto alle attività a farsi;
- utilizzo di sostanze di inibizione dei meccanismi di formazione e diffusione degli odori;
- utilizzo di procedure poco invasive (compatibilmente con la dimensione dell'intervento, con i tempi a disposizione per eseguirli e con la forza lavoro specializzata disponibile);
- utilizzo di kit per assorbimento di liquidi, eventualmente pericolosi, che si dovessero disperdere al suolo.

Nell'ambito delle attività di rimozione dei rifiuti potrebbe essere necessario, prima dell'allontanamento definitivo degli stessi, per diversi ordini di esigenze, provvedere ad un deposito temporaneo dei rifiuti nell'area di cantiere.

Tale deposito temporaneo dovrà essere effettuato almeno secondo i seguenti criteri generali:

- I recipienti destinati a contenere rifiuti pericolosi devono possedere adeguati requisiti di resistenza in relazione alle proprietà chimico-fisiche ed alle caratteristiche di pericolosità dei rifiuti contenuti;
- I rifiuti incompatibili, suscettibili cioè di reagire pericolosamente tra di loro, dando luogo alla formazione di prodotti esplosivi, infiammabili e/o tossici, ovvero allo sviluppo di notevoli quantità di calore, devono essere stoccati in modo che non possano venire a contatto tra di loro;
- Se lo stoccaggio avviene in cumuli, questi devono essere realizzati su basamenti resistenti all'azione fisica e chimica dei rifiuti e devono essere protetti dalla azione delle acque meteoriche, e, ove allo stato polverulento, dall'azione del vento;
- Se lo stoccaggio di rifiuti liquidi avviene in un serbatoio fuori terra, questo deve essere dotato di un bacino di contenimento di capacità adeguata. I serbatoi contenenti rifiuti liquidi devono essere provvisti di opportuni dispositivi antiriboccamento; qualora questi ultimi siano costituiti da una tubazione di troppo pieno, il relativo scarico deve essere convogliato in modo da non costituire pericolo per gli addetti e per l'ambiente.
- I recipienti mobili devono essere provvisti di idonee chiusure per impedire la fuoriuscita del contenuto, accessori e dispositivi atti ad effettuare in condizioni di sicurezza le operazioni di riempimento e svuotamento, mezzi di presa per rendere sicure ed agevoli le operazioni di movimentazione;
- Allo scopo di rendere nota, durante lo stoccaggio provvisorio, la natura e la pericolosità dei rifiuti, i recipienti, fissi e mobili, devono essere opportunamente contrassegnati con etichette o targhe, apposte sui recipienti stessi o collocate nelle aree di stoccaggio; detti contrassegni devono essere ben visibili per dimensione e collocazione.

Inoltre, per il deposito temporaneo, dovranno essere rispettati i criteri quali - quantitativi di cui all'articolo 183 comma 1 lett. bb) del Decreto Legislativo 152/06.

Prima della rimozione/avvio a recupero/smaltimento e comunque prima dell'eventuale deposito temporaneo, i rifiuti dovranno essere classificati in base alla normativa vigente.

A valle della rimozione dei rifiuti e a seguito della valutazione macroscopica delle condizioni dell'area di sedime potrà essere valutata l'opportunità di procedere alla asportazione di un minimo spessore di suolo, da sottoporre successivamente al medesimo iter tecnico – amministrativo dei rifiuti rimossi.

Lo spessore del suolo dell'area di sedime da rimuovere non dovrebbe comunque essere superiore a 10 - 15 cm.

Qualora, a seguito della rimozione dei rifiuti, si accerti il superamento delle CSC nelle matrici ambientali interessate, si dovrà procedere alla caratterizzazione dell'area, ai fini degli eventuali interventi di bonifica e ripristino ambientale.

L'area interessata deve essere localizzata sia con il sistema di coordinate assolute WGS 84, sia identificata su rilievo planimetrico.

Al termine delle operazioni dovrà essere redatta apposita relazione tecnica descrittiva dell'intervento effettuato corredata da un rapporto fotografico.

1.2 Svuotamento di vasche, bidoni, container contenenti sostanze potenzialmente pericolose

Nel caso in cui sia necessario operare per:

- pulizia di grandi serbatoi da morchie o materiali o sedimentati;
- svuotamento vasche di stoccaggio;
- rimozione di polimerizzazioni da reattori e mescolatori;
- svuotamento e bonifica dei digestori dai fanghi di depurazione;
- pulizia di condotte di grosso diametro con notevoli depositi di sedimenti;
- svuotamento vasche di accumulo fanghi;
- svuotamento filtri a sabbia e a carbone;
- svuotamento di vasche di grandi dimensioni da materiale semidensso;
- lavaggi di pozzi a grande profondità;
- aspirazione di sversamenti, con contestuale rimozione del terreno e del materiale liquido;
- aspirazione di prodotti polverulenti da automezzi incidentati;
- sinistri ed allagamenti;
- aspirazione di materiali misti e consistenza densa e semidensa, polverulenti.

sarà sempre necessario procedere alle operazioni tenendo preventivamente in conto, nella scelta della strumentazione e delle modalità operative che, in assenza totale o parziale di aerazione, specialmente per alcune tipologie di siti industriali attivi o dismessi (industria chimica, raffinazione, industria del legno, verniciatura, discariche, impianti di depurazione) è possibile la formazione di miscele gassose o liquide infiammabili o esplosive.

La strumentazione utilizzata per le operazioni di svuotamento per aspirazione, consistente in sistemi con pompe a vuoto ad alta o altissima portata (portate dell'ordine dei 9.000 mc/h, potenze dell'ordine dei 220 kw) deve essere provvista di apposito sistema di filtrazione per la restituzione dell'aria aspirata priva di particelle solide.

I materiali asportati dovranno essere adottati, secondo le modalità previste dalla vigente normativa, ad impianti di trattamento/smaltimento regolarmente autorizzati.

L'area interessata dagli interventi deve essere localizzata sia con il sistema di coordinate assolute WGS 84, sia identificata sul rilievo planimetrico. Il tutto dovrà essere completato con una relazione tecnica descrittiva dell'intervento ed un rapporto fotografico.

1.3 Raccolta di liquidi sversati, drenaggi

Nel caso di incidenti che provochino lo sversamento di liquidi potenzialmente inquinanti potranno verificarsi casi differenti che comportano specifiche tipologie di intervento:

- sversamento di liquidi al suolo;
- sversamento di liquidi in corpo idrico superficiale;
- sversamento diretto o indiretto di liquidi in falda.

Nel caso di sversamento di liquidi al suolo risulta di particolare importanza la tempestività di attuazione delle opportune misure di messa in sicurezza di emergenza specialmente se tale sversamento avviene su superfici che presentino alta o media permeabilità ($10^{-1} < K < 10^{-3}$ cm sec⁻¹) come:

- terreni sciolti a granulometria grossa o media non consolidati (ghiaie, sabbie...);
- terreni sciolti a granulometria fine in particolari condizioni (argille fratturate...);
- rocce lapidee fratturate;
- basamenti in calcestruzzo usurati e/o fessurati.

L'asportazione verrà effettuata tenendo presenti le caratteristiche chimiche dei liquidi presenti con particolare riferimento alle caratteristiche di pericolosità e alla infiammabilità degli stessi. A titolo di esempio, si potrà fare ricorso a:

- asportazione tramite pompe di adeguate caratteristiche, successivo stoccaggio dei liquidi in condizioni di sicurezza (vedi paragrafo relativo ai rifiuti in superficie) e smaltimento in base alla normativa vigente;
- utilizzo di kit assorbenti con successivo stoccaggio e smaltimento del materiale assorbente in base alla normativa vigente.

A valle della rimozione dei liquidi sversati e a seguito della valutazione macroscopica delle condizioni dell'area di sedime, potrà essere valutata l'opportunità di procedere alla asportazione di un minimo spessore di suolo, da sottoporre successivamente al medesimo iter tecnico – amministrativo dei rifiuti rimossi.

Lo spessore del suolo dell'area di sedime da rimuovere non dovrebbe comunque essere superiore a 10 - 15 cm.

Nel caso di liquidi galleggianti a seguito di sversamento in corpo idrico, anche per l'attuazione di misure emergenziali è necessario comunque, in via preliminare, effettuare un accertamento, sia pure di massima, della natura chimica del liquido da asportare, attraverso la valutazione, ad esempio, delle caratteristiche organolettiche di piccole quantità appositamente prelevate con strumentazione manuale.

Solo una volta accertata la natura dei liquidi è possibile predisporre quanto necessario alle successive azioni di messa in sicurezza di emergenza relativamente alle caratteristiche di sicurezza e di compatibilità chimico – fisica delle attrezzature di pompaggio.

In merito alla pianificazione delle operazioni, segnatamente alla necessità di predisporre adeguate forme di deposito temporaneo, sarà utile procedere anche alla stima quantitativa dei liquidi da asportare.

In relazione ai quantitativi stimati e alla tipologia dei liquidi sarà possibile utilizzare per l'estrazione:

- pompe a mano con serbatoio varie misure;
- pompe ad ingranaggi;
- pompe con motori elettrici e idraulici.

In ogni caso si ritiene opportuno utilizzare pompe e relativi componenti (tubazioni flessibili, cavi, ingranaggi, valvole ecc...) con adeguate guarnizioni e/o ricoprimenti antiscoppio in quanto non è possibile escludere la possibilità che le operazioni di asporto portino alla formazione di atmosfere infiammabili o deflagranti.

Una volta asportati i liquidi inquinanti galleggianti dovranno essere asportate anche le emulsioni rimanenti fino a tralasciare la sola acqua con assenza di quantità macroscopiche di liquidi inquinanti separati. Sarà necessario effettuare il deposito temporaneo presso il luogo di estrazione in condizioni idonee (vedi paragrafo relativo alla rimozione dei rifiuti), onde procedere al prelievo di campioni per l'accertamento delle caratteristiche chimiche e la classificazione necessaria al successivo recupero/smaltimento.

Tali attività possono essere svolte preventivamente rispetto al pompaggio (in situ) qualora si ravvisi un buon grado di protezione rispetto a fenomeni di infiltrazione e/o propagazione.

Nel caso di liquidi sversati direttamente o indirettamente in falda affiorante o sub affiorante potrebbe essere necessario il ricorso a drenaggi per intercettare e trattare e/o allontanare volumi di acqua di falda contaminata.

I drenaggi realizzati dovranno essere generalmente ortogonali alla direzione di deflusso della falda, approfonditi sino alla base dell'acquifero contaminato, collegati a pozzi e/o vasche di accumulo ed estrazione dei liquidi drenati da avviare a trattamento di depurazione in sito o a recupero/smaltimento presso impianto esterno.

A titolo di esempio i dreni potranno essere così realizzati:

- realizzazione di uno scavo largo almeno 50 cm;
- posa di uno strato di tessuto non tessuto lungo le pareti e il fondo dello scavo per evitare l'intasamento del materiale drenante di cui al punto successivo;
- posa di uno strato drenante di 50 cm di materiale inerte di pezzatura medio-grossa con funzione drenante;
- posa di tubazioni fessurate in HDPE, posate all'interno del materiale drenante, che convogliano, per gravità, i liquidi ai pozzi/vasche di raccolta ed estrazione.

L'area interessata deve essere localizzata sia con il sistema di coordinate assolute WGS 84, sia identificata sul rilievo planimetrico. Il tutto dovrà essere completato con relazione tecnica descrittiva dell'intervento effettuato ed un rapporto fotografico.

1.4 Copertura o impermeabilizzazione temporanea di suoli e fanghi contaminati

Nel caso di rifiuti o fanghi contaminati ammassati è necessario procedere ad una copertura temporanea per:

- evitare che i materiali presenti possono essere soggetti ad erosione e/o trasporto eolico come nel caso di residui granulari, polverulenti, truciolati, fibrosi ecc...;
- evitare che i materiali presenti possano essere soggetti a fenomeni di infiltrazione di acque o altri liquidi dall'esterno con conseguente solubilizzazione e trasporto di sostanze indesiderate verso l'ambiente;
- evitare che i materiali possano venire a contatto con animali (uccelli, animali randagi) e/o persone non autorizzate;
- mitigare l'impatto visivo dei materiali sul paesaggio.

Le tecniche utilizzate per operare una copertura o impermeabilizzazione temporanea di suoli o fanghi sono molteplici, in particolare deve essere oggetto di valutazione il materiale da utilizzarsi per la copertura che può essere di tipo naturale (strati di terreno bentonitico, argilloso, ghiaioso, vegetale ecc...), artificiale (teli in polietilene ad alta media o bassa densità, geotessili, geomembrane, geostuoie ecc...), o misto (geostuoie composite, materassini bentonitici ecc...). La scelta del materiale deve tener conto della effettiva funzione dell'intervento di copertura e di eventuali problematiche che potrebbero essere indotte dallo stesso.

Per un intervento di copertura funzionale al semplice confinamento del materiale può essere sufficiente utilizzare terreno vegetale più economico e facilmente reperibile rispetto ad altri materiali.

Nel caso di rifiuti o fanghi potenzialmente in grado di produrre emissioni gassose nocive o infiammabili o esplosive in condizioni anaerobiche, sarà necessario evitare tipi di coperture che possano generare tali condizioni (tipo teli in polietilene) ma scegliere coperture impermeabili e, allo stesso tempo, traspiranti, come strati di terreno argilloso.

Il materiale da utilizzare dovrà essere comunque scelto in modo tale da non gravare con eccessivo carico su eventuali strutture interessate e da non generare fenomeni di compressione, di spremitura e di perdita di liquidi dai rifiuti verso l'esterno.

I volumi costituiti da materiali e relativa copertura devono essere opportunamente segnalati secondo i criteri riportati nel paragrafo seguente.

1.5 Installazione di recinzioni, segnali di pericolo e altre misure di sicurezza e sorveglianza

Sono misure di prevenzione che devono essere adottate fin dalle prime fasi di un evento, volte ad evitare il contatto diretto o indiretto dell'uomo e dell'ambiente col sito potenzialmente contaminato.

La definizione dell'area da racchiudere all'interno della recinzione è preliminarmente limitata alla superficie che si ipotizza essere impattata dall'evento contaminativo più eventuali spazi necessari per effettuare le azioni di prevenzione.

Le tipologie di recinzione da adottare sono diverse e possono essere modificate nel corso delle attività. Nella fase iniziale, generalmente, sono adottati nastri con relativi segnali. Successivamente, in relazione agli accertamenti effettuati, potrà essere necessario ridefinire sia la delimitazione dell'area interessata, sia le tipologie di recinzione, adottando sistemi più solidi: da pannelli modulari fino ad arrivare a recinzioni fisse nei casi di particolare pericolosità o necessità.

Accanto ai sistemi finalizzati a delimitare le superfici deve essere installata segnaletica complementare come prevista dal Titolo V del Decreto Legislativo 81/08.

Per consentire le successive attività di risanamento, l'area da delimitare dovrà comprendere, oltre alla zona di lavoro, anche le aree occupate da deposito temporaneo dei materiali, aree per la movimentazione dei mezzi operativi e quant'altro serve per le necessarie operazioni di accertamento e risanamento.

2 INDAGINI PRELIMINARI

Le indagini preliminari sono finalizzate ad accertare la presenza di inquinamento nelle matrici ambientali coinvolte da un evento che sia potenzialmente in grado di contaminarle. Esse sono predisposte ed eseguite per accertare il superamento delle concentrazioni soglia di contaminazione a seguito di un evento incidentale o per la verifica di un fenomeno di contaminazione storico.

Come specificato nel Piano, tali indagini, ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. n.152/2006 e ss.mm.ii., devono essere effettuate e completate entro 72 ore dal verificarsi dell'evento. Tale limitazione temporale non consente, evidentemente, l'esecuzione di indagini particolarmente approfondite e pertanto in questi casi è opportuno concentrare l'esecuzione degli accertamenti nelle aree e nelle matrici che sicuramente sono state maggiormente coinvolte dall'evento.

In particolare, i punti di campionamento delle matrici ambientali potenzialmente coinvolte dall'evento in grado di causare contaminazione dovranno essere quelli in cui è ipotizzabile sia presente la concentrazione più elevata di inquinanti.

In linea teorica si potrà anche optare per la scelta di un singolo punto del sito, purché si dimostri, attraverso lo studio dell'evento accidentale o del fenomeno storico di contaminazione, che esso sia quello di principale recapito dei contaminanti in cui, presumibilmente, si risconteranno i valori di concentrazione più elevati.

Ad esempio, nel caso di presunta contaminazione di acque di falda, dovrà essere realizzato un piezometro di monitoraggio nel punto presunto di recapito delle sostanze contaminanti, sulla base di informazioni circa l'idrogeologia del sito, disponibili grazie a misurazioni dirette o, in alternativa, attraverso studi pregressi o dati bibliografici.

Naturalmente, quanto meno sono adatti gli studi alla base delle considerazioni necessarie per l'individuazione dei punti di massimo inquinamento, tanto più sarà elevato il margine di incertezza e conseguentemente maggiore sarà il numero di punti da sottoporre ad accertamenti.

Gli accertamenti atti alla valutazione della qualità delle matrici ambientali coinvolte dal fenomeno di potenziale contaminazione potranno essere, compatibilmente con il rispetto delle tempistiche d'intervento, preceduti o affiancati da indagini di tipo indiretto .

La scelta degli analiti da determinare dovrà tenere conto delle caratteristiche delle sostanze coinvolte nell'evento che ha causato il fenomeno di possibile contaminazione.

I risultati delle indagini preliminari potranno successivamente essere utilizzati nella predisposizione del Piano di caratterizzazione, al fine di contribuire alla definizione del modello concettuale preliminare.

3 CARATTERIZZAZIONE

Le attività di caratterizzazione si attuano, come stabilito dall'allegato 2 alla parte IV Titolo V del Decreto Legislativo 152/06 e ss.mm.ii., attraverso le seguenti fasi:

- Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito;
- Elaborazione del modello concettuale preliminare del sito e predisposizione di un piano di indagini ambientali finalizzato alla definizione dello stato ambientale del suolo, sottosuolo ed acque sotterranee;
- Esecuzione del Piano di Indagini e delle eventuali indagini integrative necessarie alla luce dei primi risultati raccolti;
- Elaborazione dei risultati delle indagini eseguite e dei dati storici raccolti e rappresentazione dello stato di contaminazione del suolo, sottosuolo ed acque sotterranee;
- Elaborazione del modello concettuale definitivo;
- Identificazione dei livelli di concentrazione residua accettabili sui quali impostare gli eventuali interventi di messa in sicurezza e/o bonifica, che si rendessero successivamente necessari a seguito dell'analisi di rischio.

Le specifiche tecniche di seguito fornite sono quelle applicabili in generale a tutte le tipologie di siti per cui necessita una attività di caratterizzazione (es. siti inseriti nel CSPC e nel CSPC SIN, Aree Vaste, ecc...).

Inoltre, nel paragrafo 2.4, sono stati descritti nello specifico i criteri da utilizzare per la caratterizzazione di discariche.

3.1 Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito

La Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito rappresenta la fase propedeutica fondamentale per la corretta formulazione del modello concettuale preliminare e, dunque, per la progettazione delle successive indagini.

Anche al fine di formulare in modo corretto lo schema di modello concettuale preliminare e di progettare un Piano di Indagini il più conforme possibile alla tipologia e alla condizione del sito, nonché per ottenere un rapporto utile tra costi di indagine e risultati delle stesse, è necessario preliminarmente effettuare la ricerca, lo studio e la sistematizzazione di dati ambientali e non, concernenti il sito.

Questa sezione del Piano della Caratterizzazione deve essere predisposta in maniera molto accurata nei casi in cui la caratterizzazione riguardi aree che sono o sono state oggetto di attività produttive, di gestione di rifiuti etc., mentre riveste minore importanza nei casi in cui la necessità di procedere alla caratterizzazione di un sito sia conseguenza di eventi accidentali.

I dati esistenti oggetto di ricerca e sistematizzazione, saranno principalmente relativi a:

- evoluzione nel tempo della morfologia del sito attraverso la sistematizzazione di cartografie storiche, rilievi fotografici storici ecc.;
- evoluzione delle attività antropiche svolte sul sito attraverso la sistematizzazione di documentazione relativa ad autorizzazioni all'esercizio, autorizzazioni ambientali, particolari evidenze da documentazione fotografica e cartografica storica;
- cicli produttivi attuali e passati con evidenziazione di materie prime utilizzate, prodotti, rifiuti solidi e liquidi, reflui, effluenti gassosi;
- lay-out attuali e passati con evidenziazione di zone di magazzino di materie prime e prodotti finiti, zone di deposito temporaneo di rifiuti, rete smaltimento reflui, cabine e quadri elettrici...;
- situazione amministrativa con evidenziazione di soggetto proprietario, soggetto gestore, eventuali provvedimenti giudiziari gravanti sull'area, particelle catastali interessate, destinazione urbanistica dell'area;
- informazioni relative, ad esempio, a caratteristiche dell'acquifero, caratteristiche dei suoli,...
- eventuali accertamenti analitici già esistenti sul sito, dovuti a pregresse campagne di monitoraggio e/o accertamento.

Sulla base delle informazioni storiche reperite nella fase precedente e dei risultati di eventuali indagini già effettuate si procederà alla formulazione del modello concettuale preliminare che dovrà descrivere:

- caratteristiche specifiche del sito in termini di potenziali fonti di contaminazione;
- estensione, caratteristiche e qualità preliminare delle matrici ambientali influenzate dalla presenza delle attività esistenti o passate svolte sul sito;
- potenziali percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati;

- le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi superficiali e profondi.

Gli aspetti sopra riportati dovranno essere descritti in termini di interazioni reciproche onde ricostruire, preliminarmente, le caratteristiche di:

- fonti di contaminazione sia in termini qualitativi che in termini quantitativi ossia ipotizzando in prima approssimazione grado ed estensione della contaminazione del suolo, sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato;
- percorsi di migrazione, dalle sorgenti della contaminazione ai bersagli ambientali e umani;
- bersagli ambientali ed umani e relativa vulnerabilità nel caso in esame.

Per quanto concerne le potenziali fonti di contaminazione, è utile operare un distinguo tra fonti di contaminazione primarie e secondarie, anche al fine di poter definire correttamente l'area di indagine.

La definizione della distribuzione delle fonti di contaminazione primaria (ad esempio rifiuti ammassati in superficie, rifiuti interrati, bidoni contenenti sostanze pericolose o non pericolose, infrastrutture interrate o fuori terra perdenti), della relativa estensione e della classificazione qualitativa risulta essere un processo attuabile in maniera relativamente immediata, a seguito di osservazione diretta e studio della documentazione tecnica disponibile (schemi di lay-out, planimetrie funzionali, planimetrie sottoservizi, schemi reti di collettamento e allontanamento di acque di lavorazione...), e delle eventuali risultanze analitiche presenti a vario titolo (classificazione di rifiuti, risultanze analitiche per il controllo della qualità delle acque di scarico, o per il controllo della qualità delle emissioni in atmosfera).

In generale, invece, in questa fase risulta più complessa, per mancanza di dati derivanti da specifiche campagne di indagine, la ricostruzione areale e spaziale delle matrici ambientali che costituiscono le fonti secondarie di contaminazione.

In assenza di dati e informazioni riscontrate a mezzo di indagini dirette o indirette, in linea di massima la perimetrazione del sito contaminato o potenzialmente contaminato coinciderà con il limite di proprietà dell'area in esame.

3.2 Piano di indagini

I principali obiettivi del piano di indagini iniziale sono i seguenti:

- ricostruire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area (successioni stratigrafiche, permeabilità, livelli, direzioni di falda, etc.) al fine di sviluppare il modello concettuale definitivo;
- definire le caratteristiche quali - quantitative delle potenziali fonti di contaminazione primaria individuate con l'elaborazione del modello concettuale preliminare;
- individuare le possibili vie di dispersione e migrazione degli inquinanti dalle fonti ai potenziali ricettori;
- verificare lo stato qualitativo del suolo, sottosuolo e delle acque sotterranee definendo tipo, concentrazione e distribuzione dei contaminanti;
- ricavare i parametri necessari alla conduzione dell'analisi di rischio sito specifica.

Il Piano di Indagini deve contenere le previsioni progettuali concernenti gli accertamenti ambientali e le modalità di attuazione per la realizzazione di:

- indagini indirette;
- indagini dirette;
- eventuali indagini integrative.

3.2.1 Indagini indirette

Particolarmente adatte alla ricostruzione delle caratteristiche geometriche delle sorgenti della contaminazione primarie e secondarie e delle vie di migrazione sono le indagini indirette tra le quali:

- tomografia geoelettrica;
- georadar;
- magnetometria;
- gravimetria.

L'applicazione di questi metodi permette, attraverso l'uso di tecnologie differenti e complementari, entro determinati limiti e nel caso di specifiche condizioni al contorno, di determinare:

- la configurazione spaziale di volumi interrati a diversa umidità o conducibilità ad esempio costituiti da rifiuti, sacche di percolato, plume di contaminazione etc;

- la presenza di oggetti sepolti in uno strato superficiale (4-5 metri di profondità), costituiti da materiali illecitamente abbandonati di diversa natura e provenienza o da infrastrutture sepolte (elettrodotti, gasdotti, acquedotti);
- la presenza di materiali sepolti che possano avere influenza sulla curvatura locale del campo magnetico terrestre come materiali metallici e/o ferromagnetici, con profondità di investigazione variabile in funzione della rilevanza della massa interrata;
- la presenza di volumi interrati contraddistinti da diversa densità rispetto ai suoli in posto (scorie di fonderia, rifiuti ad elevato peso specifico etc.).

3.2.2 Indagini dirette

Le indagini dirette sono principalmente attuate mediante la realizzazione di sondaggi per campionamento di suoli ed esecuzione di pozzi piezometrici di controllo e campionamento della falda.

Il campionamento di suoli deve essere effettuato con sistemi e tecnologie idonee a prelevare campioni indisturbati, cioè che non subiscano variazioni di concentrazione degli inquinanti dovute principalmente al surriscaldamento del campione od al suo dilavamento durante le fasi di sondaggio.

Le indagini di tipo diretto possono essere utilmente affiancate, per la determinazione dello stato di inquinamento del sito, da indagini Soil Gas Survey (analisi dei gas interstiziali) in campo, per la ricerca di Composti Organici Volatili (VOC).

Il Soil Gas Survey è una tecnica che, tramite l'esecuzione di pozzetti e piccoli sondaggi esplorativi, utilizzando apparecchiature come gas-cromografi e fotoionizzatori portatili, consente la ricerca e l'analisi di composti volatili presenti nel terreno.

Diffuso è anche l'uso di strumenti di monitoraggio di acque e inquinanti in fase liquida o vapore (sonda di interfaccia, fotoionizzatore (PID), esplosimetro, analizzatori di campo di parametri fisici, gas e sostanze disciolte in acqua ecc.).

Inoltre è possibile ricorrere, per casi specifici, all'uso di metodologie e tecniche di misura dei parametri idraulici degli acquiferi e degli inquinanti in fase liquida (prove di pompaggio, slug test, product bail down test ecc.).

✓ UBICAZIONE DEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO

Per ogni matrice ambientale investigata (suolo, sottosuolo, materiali di riporto, acque sotterranee, acque superficiali), si possono utilizzare due principali strategie per selezionare l'ubicazione dei punti di sondaggio e prelievo:

ubicazione ragionata: la scelta dell'ubicazione dei punti di campionamento è basata sul modello concettuale preliminare ed è mirata a verificare le ipotesi formulate sulla presenza di contaminanti o sulle caratteristiche ambientali del sito. E' la scelta di elezione nel caso di siti complessi, per i quali le informazioni storiche ed impiantistiche disponibili, o la disponibilità di dati relativi ad indagini preliminari, consentano di prevedere la localizzazione delle aree maggiormente contaminate;

ubicazione sistematica: a scelta dell'ubicazione dei punti di campionamento è effettuata sulla base di un criterio di tipo casuale o statistico, quale ad esempio quello sulla base di una griglia predefinita o casuale. E' la scelta da preferire ogni volta che le dimensioni dell'area o la scarsità di informazioni storiche e impiantistiche sul sito non permettano di prevedere la localizzazione delle più probabili fonti di contaminazione. Nel caso in cui si proceda con una disposizione a griglia, il lato di ogni maglia potrà variare indicativamente da 25 a 100 m a seconda del tipo e delle dimensioni del sito oggetto di indagine . I punti di indagine potranno essere localizzati in corrispondenza dei nodi della griglia (ubicazione sistematica) , oppure all'interno di ogni maglia in posizione opportuna a seconda dei dati conoscitivi ottenuti dalla fase di indagine preliminare o in base alla situazione logistica (presenza di infrastrutture, ecc.), ovvero posizionati casualmente all'interno delle maglie della griglia (ubicazione sistematica casuale).

Data la particolare eterogeneità delle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque sotterranee, il campionamento e le analisi dovranno essere effettuate in modo da fornire un campione rappresentativo della reale concentrazione di una determinata sostanza nello spazio, cioè nell'area e nel volume campionati, ed eventualmente l'evoluzione della concentrazione nel tempo.

✓ SELEZIONE DELLE SOSTANZE DA RICERCARE

La selezione delle sostanze chimiche da ricercare per la caratterizzazione dell'eventuale stato di contaminazione di suolo, sottosuolo e acque profonde o superficiali, deve avvenire sulla base del seguente processo:

- nel caso di attività produttive attive o dismesse la selezione dei parametri da analizzare sarà effettuata sulla base dell'analisi dei cicli produttivi, delle materie prime utilizzate, degli intermedi, dei prodotti e dei rifiuti generati;
- nel caso di discariche la selezione sarà effettuata sulla base delle caratteristiche della tipologia di rifiuti smaltiti o che si sospetta possano essere stati smaltiti nella discarica;
- nel caso di sversamenti accidentali la selezione sarà effettuata in funzione della natura dei prodotti che hanno causato l'evento.

In tutti i casi nella scelta degli analiti da ricercare si dovrà tenere conto anche dei risultati di eventuali indagini pregresse.

Si evidenzia che, per determinate aree della Regione, (in particolare per il SIN di Napoli Orientale), sono state già definite, in collaborazione tra Enti competenti in materia, liste di analiti standard da ricercare obbligatoriamente per la caratterizzazione .

Unitamente alla selezione delle sostanze da ricercare, nel Piano dovranno essere indicate anche le relative metodiche analitiche , che dovranno essere scelte tra quelle ufficialmente riconosciute e tali da ottenere, ove tecnicamente possibile, un limite di rilevabilità almeno 10 volte inferiore alla concentrazione soglia di riferimento.

✓ MODALITÀ DI ESECUZIONE DI SONDAGGI E PIEZOMETRI

Le modalità di esecuzione dei sondaggi e dei piezometri dovranno essere tali da permettere il prelievo di campioni che siano il più possibile indisturbati e dunque rappresentativi dello stato qualitativo, dal punto di vista chimico fisico, della matrice investigata.

I sondaggi devono essere eseguiti a carotaggio continuo con metodi di perforazione a secco senza fluido di perforazione, usando un carotiere di diametro idoneo a prelevare campioni indisturbati ed evitando fenomeni di surriscaldamento. Le perforazioni dovranno essere eseguite evitando l'immissione nel sottosuolo di composti estranei, adottando i seguenti accorgimenti: rimozione dei lubrificanti dalle zone filettate; uso di rivestimenti, corone e scarpe non verniciate; eliminazione di gocciolamenti di oli dalle parti idrauliche; pulizia dei contenitori per l'acqua; pulizia di tutti le parti delle attrezzature tra un campione e l'altro.

In alternativa si deve ricorrere a sistemi di percussione con "campionatore a pareti spesse" (che permettono il carotaggio integrale e rappresentativo del terreno con recupero > 85%), se si opera in ambienti in cui non vi sia rischio di generare esplosività.

Sempre tenendo presente i requisiti di rappresentatività che il campione deve possedere, la scelta del tipo di perforazione deve essere guidata dalle necessità conoscitive poste 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, di effettuare il prelievo di campioni indisturbati o rimaneggiati di terreno, considerando anche l'eventuale presenza di inquinanti volatili e la necessità di installare piezometri.

Il materiale perforato, estruso dal carotiere per battitura o tramite l'utilizzo di un pistone che spingerà la carota dalla parte superiore del carotiere stesso ma comunque senza l'uso di fluidi, verrà deposto nell'apposita cassetta catalogatrice avendo cura di non alterare la naturale successione stratigrafica. Prima che il materiale raccolto venga riposto per la conservazione o utilizzato per la formazione del campione, si procederà a fotografare la carota dal basso verso l'alto, con una scala di riferimento, numero di catalogazione e relativa data e numero sondaggio.

Nell'esecuzione dei campionamenti di terreno e di materiali interrati occorre adottare cautele al fine di non provocare la diffusione di inquinanti, a seguito di eventi accidentali quali la rottura di fusti interrati o di diaframmi impermeabili. Occorre inoltre porre molta attenzione, in fase di sondaggio, nell'evitare di attraversare strati impermeabili sottostanti o livelli di terreno inquinato e diffondere la contaminazione.

I pozzi di monitoraggio della falda dovranno attestarsi nel primo acquifero significativo; il foro sarà completato con una tubazione (generalmente in PVC del diametro di 4"). La tubazione sarà microfessurata, (ad esempio con luce di 0,5 mm), nel tratto compreso tra il fondo foro fino ad oltrepassare il livello di falda riscontrato, e cieca dello stesso diametro e materiale nel rimanente tratto.

Lo spazio anulare tra il pozzo e il foro sarà riempito con sabbia silicea lavata e calibrata (1-3 mm) fino a 50 cm sopra il tratto fessurato. Al fine di evitare l'infiltrazione delle acque superficiali, il restante spazio sarà riempito con bentonite in pellets per circa 50 cm e con una miscela cementizia fino a boccapozzo.

Al termine dell'installazione, in tutti i piezometri si procederà allo sviluppo e allo spurgo mediante pompa sommersa a piccola portata o mediante "air lift".

I pozzi di monitoraggio potranno essere completati in superficie, in funzione dell'ubicazione, con pozzetti carrabili in ghisa o con protezioni metalliche fuori terra. Per prevenire l'infiltrazione d'eventuale acqua superficiale, il boccapozzo sarà chiuso con un tappo a tenuta provvisto di lucchetto.

✓ MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO SUOLI

La profondità di prelievo di campioni di suolo, sottosuolo o materiali di riporto dovrà essere correlata con la necessità di caratterizzare l'area dal punto di vista geologico e idrogeologico, con la necessità di definire la profondità dell'inquinamento, la variabilità verticale della contaminazione, la presenza di contatto diretto tra gli acquiferi e le fonti di inquinamento. Le profondità a cui effettuare i prelievi ed il numero di prelievi minimo sono stabiliti dalla norma (tre prelievi di suolo: uno nel primo metro, uno in frangia capillare e uno nella zona intermedia). Il numero di campioni da prelevare sarà proporzionalmente incrementato in funzione della profondità dei sondaggi, delle variazioni litostratigrafiche e della presenza di evidenze di contaminazione.

I campioni di suolo saranno raccolti dalla parte interna della carota con una spatola metallica, privati della frazione che eccede la granulometria di 2 cm, e posti in contenitori compatibili per tipologia e capacità con gli analiti da determinare.

I recipienti devono essere completamente riempiti di campione, sigillati, etichettati, conservati a bassa temperatura (4 °C) ed inoltrati subito ai laboratori di analisi, insieme con le note di prelievo.

Ciascun campione sarà etichettato in modo tale da assicurarne la tracciabilità.

Qualora alla massima profondità raggiunta dai punti d'indagine si riscontrino evidenze di contaminazione, le perforazioni saranno approfondite sino a definire la massima profondità della contaminazione.

I campioni di suolo destinati all'analisi per la ricerca di sostanze volatili dovranno essere prelevati con metodologie atte ad evitarne la perdita.

Le attrezzature utilizzate per l'esecuzione dei sondaggi e per i successivi campionamenti dovranno essere sottoposte ad opportune operazioni di decontaminazione per evitare fenomeni di contaminazione incrociata dei campioni.

✓ MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO ACQUE

Al termine dell'installazione del piezometro e preventivamente alle attività di campionamento, previa misura dei livelli di falda, si dovrà prevedere il reintegro della conducibilità idraulica naturale all'interno delle formazioni attraversate, rimuovendo le particelle fini in grado di intasare il dreno ed intorbidire i campioni di acqua prelevati. Si procederà, dunque, in tutti i piezometri allo sviluppo degli stessi (mediante pompa sommersa di piccola portata o con altre metodologie, quali l'"air lift"), al fine di ottenere campioni rappresentativi delle acque sotterranee. Il volume di acqua che verrà emunta (raccolta e smaltita come rifiuto liquido) durante la fase di spurgo deve essere pari a circa 4 volte il volume di acqua contenuto nel pozzo e nel filtro in fase statica. Le operazioni di spurgo verranno terminate una volta estratto il volume di acqua richiesto. Il campionamento avverrà entro 24 ore dal ripristino del livello piezometrico naturale.

Per il prelievo dei campioni saranno utilizzate pompe a bassa portata (elettropompe sommerse o pompe peristaltiche). Nel caso in cui si riscontri la presenza di prodotto surnatante, questo sarà campionato con appositi campionatori monouso in polietilene (bailer).

L'acqua prelevata sarà raccolta in contenitori di capacità e tipologia compatibile con gli analiti da ricercare.

I recipienti devono essere completamente riempiti di campione, sigillati, etichettati, conservati a bassa temperatura (4 °C) ed inoltrati subito ai laboratori di analisi, insieme con le note di prelievo.

Ciascun campione sarà etichettato in modo tale da assicurarne la tracciabilità.

Nel caso si sospetti la presenza di una fase surnatante, si dovrà procedere alla misurazione dello spessore di tale fase mediante sonda ad interfaccia. In questo caso il campionamento sarà statico allo scopo di prelevare sostanze non miscibili con l'acqua e con densità diversa, e verrà eseguito con campionatori manuali (bailers) monouso e corde di manovra pulite. E' necessario, dunque, evitare fenomeni di turbolenza e di areazione sia

durante la uscita del campionatore sia durante il travaso del campione d'acqua nel contenitore specifico. A seconda della presenza di liquidi di densità maggiore o minore dell'acqua saranno utilizzati rispettivamente campionatori di profondità o di superficie. Il prelievo, comunque, deve essere effettuato solo dopo opportuno spurgo e ristabilizzazione del livello piezometrico statico.

Il campionamento dinamico deve essere invece effettuato con pompa pneumatica sommersa secondo il metodo a basso flusso (non superiore a 1 l/min) al fine di ridurre i fenomeni di modificazione chimico-fisica delle acque sotterranee, quali trascinarsi dei colloidali presenti nell'acquifero o reazioni di ossidoriduzione.

La pompa a basso flusso sarà collegata con una cella di misura stagna, dotata di porte porta-sensori e di una centralina portatile multiparametrica per la misurazione dei parametri chimico-fisici. A monte della cella di misura sarà installato un contenitore di vetro di grossa dimensione (15-20 l), al fine di miscelare ed omogeneizzare l'acqua da campionare; la cisterna sarà munita di un rubinetto dal quale saranno prelevati i campioni d'acqua.

✓ DETERMINAZIONI ANALITICHE

Le determinazioni analitiche sui campioni di suolo dovranno essere condotte sulla frazione inferiore a 2 mm. I risultati ottenuti sulla frazione passante al vaglio di 2mm saranno poi espressi in funzione della totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro.

Le determinazioni analitiche sui campioni di suolo per la ricerca di sostanze volatili saranno effettuate sul campione tal quale non essiccato e non sottoposto al vaglio di 2mm.

Le metodiche analitiche da utilizzare per suoli e acque dovranno essere tra quelle ufficialmente riconosciute e tali da garantire un limite di rilevabilità almeno 10 volte inferiore alla concentrazione soglia di riferimento.

3.3 **Rappresentazione dello stato di contaminazione ed elaborazione del Modello Concettuale Definitivo (MCD)**

I dati e le informazioni ricavati nel corso dell'esecuzione del Piano di Indagini devono essere restituiti in forma standardizzata utile al fine di poter confluire nel Sistema Informativo Regionale Ambientale (SIRA).

La rappresentazione dello stato di contaminazione deve comprendere gli elementi che definiscono l'estensione della contaminazione, i volumi di suolo e le porzioni di falda contaminati, il grado di inquinamento. L'elaborazione dei dati analitici deve esprimere l'incertezza del valore di concentrazione determinato per ciascun parametro e i metodi e calcoli statistici utilizzati per determinarla. La rappresentazione dei risultati può essere realizzata attraverso:

- Tabelle di sintesi;
- Carte geologiche, strutturali e idrogeologiche;
- Carte dell'ubicazione delle indagini svolte;
- Carte di rappresentazione della contaminazione;
- Carte piezometriche.

L'elaborazione del MCD del sito è mirata alla determinazione delle interazioni tra fonti della contaminazione e bersagli attraverso le vie di migrazione, rappresentando la base per l'applicazione dell'Analisi di Rischio sito specifica.

Il MCD include:

- Le caratteristiche specifiche del sito in termini di stato delle potenziali fonti di contaminazione;
- Le caratteristiche specifiche del sito in merito alla circolazione idrica sotterranea;
- Grado ed estensione della contaminazione del suolo, sottosuolo, acque sotterranee;
- Percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati nello scenario attuale e futuro.

4 CARATTERIZZAZIONE DI DISCARICHE

Per la Caratterizzazione delle Discariche si deve fare riferimento ai seguenti criteri generali, da applicare ed adattare nello specifico ai singoli casi in oggetto.

Il piano di indagini deve essere mirato al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- verificare le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area;
- verificare lo stato qualitativo del suolo, sottosuolo e delle acque sotterranee;
- definire il grado e l'estensione dell'eventuale inquinamento;
- verificare, se necessario, la tipologia dei rifiuti ed effettuare una loro classificazione;
- confermare le vie di migrazione degli inquinanti ipotizzate.

Propedeutica alle attività di caratterizzazione è la realizzazione di indagini non invasive, che permettano di assumere notizie anche di carattere generale in merito alla conformazione delle superfici di contatto tra rifiuti e terreno in sito, sulle zone interessate dalla presenza di liquidi di percolazione, sulla profondità del telo in HDPE e sulla eventuale presenza di altre anomalie. Le informazioni desunte permetteranno inoltre lo spostamento dei punti di sondaggio per la verifica delle anomalie rilevate e la realizzazione delle indagini dirette con maggior livello di sicurezza.

I metodi di tipo geoelettrico ed elettromagnetico risultano tra i più adatti a fornire un valido contributo nell'individuazione e nella definizione di volumi contaminati nei suoli e nelle falde, in quanto le caratteristiche elettriche ed elettromagnetiche del sottosuolo sono fortemente influenzate dalla presenza di sostanze inquinanti, sia di natura inorganica che organica. In funzione delle specificità dei singoli siti potranno adottarsi altri metodi in alternativa o in combinazione alle succitate tecnologie.

Per la ricostruzione delle caratteristiche stratigrafiche del sito dovranno essere realizzati sondaggi a carotaggio continuo posizionati facendo riferimento ad un interasse massimo di 50 metri sul perimetro: i punti saranno collocati in prossimità delle zone critiche o delle zone in cui si sono evidenziate anomalie geofisiche nel campagna di indagini indirette, oppure secondo una ubicazione sistematica casuale. Deve essere previsto comunque che almeno 4 sondaggi (2 a monte e 2 a valle) siano condizionati a piezometri: in funzione delle specifiche condizioni e dell'estensione del sito è opportuno prevederne un numero maggiore per il raggiungimento degli obiettivi succitati.

Se si ritiene opportuno approfondire la conoscenza dei rifiuti o verificare l'eventuale presenza di anomalie si possono realizzare trincee di idonea profondità e nel rispetto delle condizioni di sicurezza. Qualora la realizzazione di trincee nel corpo rifiuti non sia possibile per motivi logistici si potrà procedere alla realizzazione di sondaggi all'interno del banco rifiuti, condotti sino ad una profondità pari a circa il 70% dello spessore locale del banco onde evitare l'attraversamento di strati impermeabili di fondo, operando nel rispetto delle condizioni di sicurezza. Inoltre può essere previsto il prelievo di campioni di percolato da ciascuno dei punti di estrazione e raccolta per verificarne le caratteristiche.

Si dovrà prevedere il campionamento dei sedimenti e/o delle acque in almeno tre punti per ognuno dei corsi d'acqua eventualmente presenti nei pressi del sito della Discarica, di cui uno sicuramente non influenzabile da un'eventuale inquinamento indotto dal sito di Discarica.

Infine, se si ritiene opportuno effettuare una verifica di stabilità del corpo rifiuti, dovranno essere condotte indagini indirette e dirette finalizzate alla determinazione dei parametri ritenuti necessari e un dettagliato rilievo piano altimetrico al fine di determinare i parametri necessari all'esecuzione della verifica di stabilità globale.

Sui campioni prelevati nel corso dell'esecuzione delle indagini di Caratterizzazione delle Discariche saranno ricercati, in linea di massima, i seguenti parametri:

<i>Suolo:</i>	Composti inorganici, Composti Organici Aromatici, Piombo Tetraetile, MTBE, Aromatici Policiclici, Alifatici Alogenati Cancerogeni, Alifatici Clorurati Cancerogeni, Alifatici Clorurati non Cancerogeni, Idrocarburi, PCB (Top Soil), Diossine e Furani (Top Soil), Amianto (Top Soil).
<i>Rifiuti:</i>	Aspetto, Colore, Odore, Residuo a 105 °C, Residuo a 650 °C, Composti inorganici, Composti Organici Aromatici, Aromatici Policiclici, Alifatici Alogenati Cancerogeni, Alifatici Clorurati Cancerogeni, Alifatici Clorurati non Cancerogeni, Idrocarburi, PCB, Prova di Lisciviazione in acqua deionizzata (D.M. 03.08.2005), TOC, Amianto.
<i>Acqua sotterranea:</i>	Metalli, Inquinanti inorganici e Cloruri, Azoto Ammoniacale, Azoto nitroso e Azoto nitrico, Composti Organici Aromatici, Aromatici Policiclici, Piombo Tetraetile, MTBE,

Alifatici Alogenati Cancerogeni, Alifatici Clorurati Cancerogeni, Alifatici Clorurati non Cancerogeni, Idrocarburi Totali – n-esano, COD, BOD5, TOC, Ca, Na, K.

Percolato:

Metalli, Inquinanti inorganici, Nitrati, Ammoniaca, Cloruri, Composti Organici Aromatici, Aromatici Policiclici, PCB, Alifatici Alogenati Cancerogeni, Alifatici Clorurati Cancerogeni, Alifatici Clorurati non Cancerogeni, Idrocarburi Totali, COD, ph, Conducibilità.

5 ANALISI DI RISCHIO SANITARIO AMBIENTALE SITO-SPECIFICA

L' art. 240 comma 1 lett. s) del D.Lgs. 152/2006 definisce l'Analisi di rischio sanitario-ambientale sito-specifica quale l'analisi degli effetti sulla salute umana derivanti dall'esposizione prolungata all'azione delle sostanze presenti nelle matrici ambientali contaminate, da condurre secondo i criteri indicati all'allegato I della parte IV, funzionale alla determinazione degli obiettivi di bonifica sui quali impostare gli interventi di messa in sicurezza e/o di bonifica.

Dalla procedura di analisi di rischio applicata in modalità inversa si ricava la concentrazione soglia di rischio (CSR), che rappresenta la massima concentrazione ammissibile in sorgente compatibile con il livello di rischio ritenuto accettabile per il recettore esposto.

5.1 Concetti e principi base

La valutazione del rischio è la stima delle conseguenze sulla salute umana di un evento potenzialmente dannoso, in termini di probabilità che le stesse si verifichino. Alla base dell'applicazione dell'Analisi di rischio vi è l'individuazione del 'Modello Concettuale del Sito (MCS)' che rappresenta la semplificazione in uno schema fisico teorico di un fenomeno reale e complesso.

Ai fini dell'elaborazione del MCS, basato fondamentalmente sulla ricostruzione dei caratteri delle sorgenti di contaminazione, delle vie di migrazione e dei bersagli della contaminazione, vengono utilizzati i risultati delle indagini di caratterizzazione. Perché possa essere correttamente applicata l'analisi di rischio sito specifica, nell'esecuzione delle indagini di caratterizzazione bisognerà porre particolare attenzione alla determinazione delle misure sito-specifiche riportate nella Tabella 2.1.

Tabella 2.1

SUOLO SATURO				
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	VALORE DI DEFAULT DOC. APAT (TAB.5.2)	NECESSITÀ DI MISURE SITO-SPECIFICHE
L_{GW}	Profondità del piano di falda	cm	300	Si
h_v	Spessore della zona insatura	cm	281.2	Si
d_a	Spessore della falda	cm	-----	Si
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	cm	4500	Si
S_w	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	cm	4500	Si
A	Area della sorgente (rispetto alla direzione del flusso di falda)	cm ²	20250000	Si
W'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm	4500	Si
S_w'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm	4500	Si
A'	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm ²	20250000	Si
$L_{s(SS)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	0	Si
$L_{s(SP)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100	Si
L_f	Profondità della base della sorgente rispetto al p.c.	cm	300	Si
d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm	200	Si
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	Si
L_F	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	cm	300	Si
ro_s	Densità del suolo	g/cm ³	1.7	Si
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo	0.01	Si

SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	VALORE DI DEFAULT DOC. APAT (TAB.5.2)	NECESSITA' DI MISURE SITO-SPECIFICHE
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	Si*
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6.8	Si
<i>(*) Implementazione formula empirica contenuta nel manuale APAT con dati di piovosità della stazione meteo più vicina</i>				
SUOLO SATURO / FALDA				
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	VALORE DI DEFAULT DOC. APAT (TAB.5.2)	NECESSITA' DI MISURE SITO-SPECIFICHE
V_{gw}	Velocità di Darcy	cm/anno	2500	Si
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	cm/anno	-----	Si
i	Gradiente idraulico	adim.	-----	Si
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0.001	Si
pH	pH del suolo saturo	adim.	6.8	Si
W'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm	4500	Si
S_w'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm	4500	Si
S_w'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm	4500	Si
A'	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm ²	20250000	Si
U_{air}	Velocità del vento	cm/s	225	Si*
A_b	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm ²	700000	Si
<i>(*) Elaborazione dati storici della stazione meteo più vicina</i>				
SPAZI CHIUSI				
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	VALORE DI DEFAULT DOC. APAT (TAB. 5.2)	NECESSITA' DI MISURE SITO-SPECIFICHE
L_{crack}	Spessore delle fondazioni (muri)	cm	15	Si
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES.)	cm	200	Si
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (IND.)	cm	300	Si
L_T	Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (in falda) e la base delle fondazioni	cm	0 (285)	Si
Z_{crack}	Profondità delle fondazioni	cm	15	Si

Per tutti gli altri parametri, nel caso in cui non siano disponibili misure dirette, si dovrà procedere come di seguito indicato:

- qualora disponibili, vanno utilizzati dati storici derivanti da bibliografia relativa a studi precedentemente condotti sull'area in esame, a condizione che si tratti di dati attendibili e provenienti da fonti accreditate;
- in assenza di dati storici, vanno applicati, ove possibile, i criteri di stima indiretta descritti in corrispondenza di ogni parametro nei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" pubblicati da ISPRA.

La scelta dei parametri, inoltre, dovrà rispondere a criteri di conservatività, essendo il principio della cautela intrinseco alla procedura di analisi di rischio.

I bersagli della contaminazione sono identificati in base alla destinazione d'uso del sito prevista dagli strumenti di programmazione territoriale. In generale, non essendo sempre possibile prevedere il tipo di attività associabile in futuro al sito, l'analisi di rischio deve essere eseguita rispetto alla situazione attuale, fermo restando che è sempre necessario prevedere la conduzione di una valutazione di rischio integrativa al momento dell'attuazione del cambiamento di

destinazione e/o di utilizzo del sito. Delle risultanze relative alla/e analisi di rischio, nei casi di presenza di rischio o di assenza di rischio solo per destinazione d'uso commerciale e industriale, deve essere mantenuta traccia negli strumenti di pianificazione urbanistica.

5.2 Parametri principali

Le componenti dell'analisi di rischio da parametrizzare sono: inquinanti indicatori, sorgenti, vie e modalità di esposizione, ricettori finali.

Gli inquinanti indicatori sono quelli che, per valori di concentrazione, tossicità, frequenza di rilevamento, mobilità nei comparti ambientali, persistenza e capacità di bioaccumulo, presentano il rischio maggiore per l'uomo.

Le indagini di caratterizzazione dovranno portare alla valutazione della geometria della sorgente che deve essere individuata nei 3 comparti ambientali corrispondenti al suolo superficiale, al suolo profondo insaturo e al suolo saturo.

È possibile suddividere un sito di grandi dimensioni in subaree qualora sussista almeno una delle seguenti condizioni:

- disomogeneità delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche;
- differenziazione di tipologia ed origine della contaminazione;
- differenze nell'utilizzo dell'area;
- differenze nelle modalità di esposizione e/o nella tipologia dei ricettori esposti.

Le vie di esposizione sono quelle mediante le quali il potenziale bersaglio entra in contatto con le sostanze inquinanti.

Si ha una esposizione diretta se la via di esposizione coincide con la sorgente di contaminazione; si ha una esposizione indiretta nel caso in cui il contatto del recettore con la sostanza inquinante avviene a seguito della migrazione della stessa e quindi avviene ad una certa distanza dalla sorgente.

Le vie di esposizione per le quali occorre definire i parametri da introdurre nei calcoli sono:

- Suolo superficiale (compreso fra piano campagna e 1 metro di profondità);
- Suolo profondo (compreso fra la base del precedente e la massima profondità indagata);
- Aria outdoor (porzione di ambiente aperto, aeriforme, dove si possono avere evaporazioni di sostanze inquinanti provenienti dai livelli più superficiali);
- Aria indoor (porzione di ambiente aeriforme confinata in ambienti chiusi);
- Acqua sotterranea (falda superficiale e/o profonda);

Le modalità di esposizione attraverso le quali può avvenire il contatto tra l'inquinante ed il bersaglio variano in funzione delle vie di esposizione sopra riportate e sono distinguibili in:

- ingestione di suolo;
- contatto dermico;
- inalazione di vapori e particolato.

I recettori o bersagli della contaminazione da prendere in considerazione sono, nel caso di rischio sanitario-ambientale i recettori umani, identificabili in residenti e/o lavoratori presenti nel sito (on-site) o persone che vivono al di fuori del sito (off-site) e la risorsa idrica sotterranea.

5.2.1 Punto di conformità

Di fondamentale importanza è l'ubicazione del punto di conformità che rappresenta il punto a valle idrogeologico a cui deve essere garantito il ripristino dello stato originale (ecologico, chimico e/o quantitativo) del corpo idrico sotterraneo. Pertanto al punto di conformità, che deve essere fissato non oltre il confine del sito oggetto di bonifica, devono essere rispettati, per ciascun contaminante, gli obiettivi di qualità del corpo idrico oppure, qualora questi non fossero stati definiti, i valori di fondo naturale stabiliti dall'autorità competente oppure, in mancanza di questi ultimi, le CSC.

5.2.2 Criteri di accettabilità del rischio cancerogeno e dell'indice di rischio

Il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la singola sostanza (rischio individuale) è posto pari a 10^{-6} mentre il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la sommatoria di più sostanze (rischio cumulativo) è posto pari a 10^{-5} .

Per il rischio derivante da sostanze non cancerogene il valore di riferimento è 1.

5.2.3 Procedure di calcolo e stima del rischio

Le procedure di calcolo, finalizzate alla determinazione del rischio, devono essere condotte mediante l'utilizzo di metodologie, quale ad esempio ASTM PS 104, di comprovata validità sia dal punto di vista delle basi scientifiche che supportano gli algoritmi di calcolo, che della riproducibilità dei risultati.

5.2.4 Procedura di validazione

Al fine di consentire la validazione dei risultati ottenuti da parte degli enti di controllo è necessario avere la piena rintracciabilità dei dati di input con relative fonti e dei criteri utilizzati per i calcoli.

Gli elementi più importanti sono:

- Criteri di scelta degli inquinanti indicatori;
- Modello concettuale del sito alla luce dei risultati delle indagini di caratterizzazione con percorsi di esposizione e punti di conformità;
- Documentazione inerente le prove sito-specifiche effettuate;
- Procedure di calcolo utilizzate;
- Fonti utilizzate per la determinazione dei parametri di input degli algoritmi di calcolo.

6 BONIFICA

Come definito nell'Allegato 3 della Parte IV del D.Lgs. 152/2006, gli interventi di bonifica e di messa in sicurezza devono essere condotti secondo i seguenti criteri generali:

- privilegiare le tecniche di bonifica che riducono permanentemente e significativamente la concentrazione nelle diverse matrici ambientali, gli effetti tossici e la mobilità delle sostanze inquinanti;
- privilegiare le tecniche di bonifica tendenti a trattare e riutilizzare il suolo nel sito, trattamento in-situ ed on-site del suolo contaminato, con conseguente riduzione dei rischi derivanti dal trasporto e messa a discarica di terreno inquinato;
- privilegiare le tecniche di bonifica/messa in sicurezza permanente che bloccino le sostanze inquinanti in composti chimici stabili (ad es. fasi cristalline stabili per metalli pesanti);
- privilegiare le tecniche di bonifica che permettono il trattamento e il riutilizzo nel sito anche dei materiali eterogenei o di risulta utilizzati nel sito come materiali di riempimento;
- prevedere il riutilizzo del suolo e dei materiali eterogenei sottoposti a trattamenti off-site sia nel sito medesimo che in altri siti che presentino le caratteristiche ambientali e sanitarie adeguate;
- privilegiare negli interventi di bonifica e ripristino ambientale l'impiego di materiali organici di adeguata qualità provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani;
- evitare ogni rischio aggiuntivo a quello esistente di inquinamento dell'aria, delle acque sotterranee e superficiali, del suolo e sottosuolo, nonché ogni inconveniente derivante da rumori e odori;
- evitare rischi igienico-sanitari per la popolazione durante lo svolgimento degli interventi;
- adeguare gli interventi di ripristino ambientale alla destinazione d'uso e alle caratteristiche morfologiche, vegetazionali e paesistiche dell'area;
- per la messa in sicurezza privilegiare gli interventi che permettono il trattamento in situ ed il riutilizzo industriale dei terreni, dei materiali di risulta e delle acque estratte dal sottosuolo, al fine di conseguire una riduzione del volume di rifiuti prodotti e della loro pericolosità;
- adeguare le misure di sicurezza alle caratteristiche specifiche del sito e dell'ambiente da questo influenzato;
- evitare ogni possibile peggioramento dell'ambiente e del paesaggio dovuto dalle opere da realizzare;
- presentare una dettagliata analisi comparativa delle diverse tecnologie di bonifica applicabili al sito in esame, in considerazione delle specifiche caratteristiche dell'area, in termini di efficacia nel raggiungere gli obiettivi finali, concentrazioni residue, tempi di esecuzione, impatto sull'ambiente circostante degli interventi; questa analisi deve essere corredata da un'analisi dei costi delle diverse tecnologie. Le alternative presentate dovranno permettere di comparare l'efficacia delle tecnologie anche in considerazione della riduzione della gestione a lungo termine delle misure di sicurezza, dei relativi controlli e monitoraggi;
- indicare se, qualora previste, si dovrà procedere alla rimozione o al mantenimento a lungo termine delle misure di sicurezza, e dei relativi controlli e monitoraggi.

Di seguito viene proposta una sintetica rassegna delle principali tecnologie di bonifica, applicabili alle diverse situazioni di contaminazione riscontrate nei siti della regione Campania.

L'ultimo paragrafo è stato dedicato nello specifico alle tecnologie di bonifica applicabili ai siti pubblici inseriti nell' ASB di cui al presente Piano (discariche e fondali marini e lacustri).

6.1 Classificazione delle tecnologie di bonifica

Una prima classificazione delle tecniche di bonifica può essere effettuata in funzione del luogo dove esse vengono applicate. In tal senso è possibile distinguere:

- interventi in-situ: effettuati senza movimentazione o rimozione (scavo/pompaggio) della/e matrice/i inquinata/e;
- interventi ex situ: effettuati con movimentazione o rimozione della/e matrice/i inquinata/e, a loro volta suddivisi in:
 - o interventi on-site: effettuati con movimentazione e rimozione di materiali inquinati, ma con successivo trattamento nell'area del sito stesso;
 - o interventi off-site, effettuati con movimentazione e rimozione di materiali inquinati e loro trattamento/smaltimento al di fuori del sito .

In funzione dei processi alla base delle tecnologie di bonifica è poi possibile distinguere:

- Trattamenti biologici, basati sui processi di biodegradazione dei composti organici da parte di batteri. Tali processi possono avvenire in condizioni aerobiche, con trasformazione dei contaminanti organici in anidride carbonica, acqua e massa cellulare, o anaerobiche con formazione di metano, anidride carbonica, idrogeno.
- Trattamenti chimico-fisici, basati su processi di estrazione, processi di detossificazione o processi di immobilizzazione;
- Trattamenti termici, basati su processi di desorbimento termico o di termodistruzione/incenerimento;
- Interventi di contenimento, mirati ad impedire la diffusione della contaminazione verso potenziali recettori.

Di seguito si propone una rassegna delle principali caratteristiche delle tipologie di intervento sopra elencate desunta dalla bibliografia internazionale (www.epa.gov; www.frtr.gov).

In alcuni casi le tecnologie tendono ad avere parziali sovrapposizioni, in funzione del tipo di applicazione e d'ingegnerizzazione del sistema. Per la puntuale descrizione tecnica delle caratteristiche delle singole tecnologie si rimanda ai riferimenti di cui sopra.

6.2 Principali tecnologie applicabili alla matrice suolo

6.2.1 Trattamenti in situ

Il vantaggio principale dei trattamenti in situ è che essi consentono il trattamento dei suoli senza che questi siano rimossi e movimentati, con conseguente risparmio di costi e di impatti dovuti ad attività di trasporto.

Il trattamento in situ generalmente richiede però periodi di applicazione più lunghi e non assicura l'uniformità di trattamento, a causa della variabilità delle caratteristiche di suolo e falda. Infine l'efficacia del trattamento è più difficile da verificare.

✓ TRATTAMENTI BIOLOGICI IN SITU

I trattamenti biologici in situ, applicabili per la bonifica da composti chimici organici, sono tecniche dirette a stimolare la crescita di microrganismi mediante la creazione di un ambiente favorevole in modo che tali microrganismi utilizzino i contaminanti come alimento e fonte di energia. In generale la creazione di un ambiente favorevole avviene realizzando una combinazione di ossigeno, nutrienti, umidità, temperatura e ph adatta alla proliferazione dei microrganismi maggiormente idonei per la degradazione dei contaminanti specifici del caso in esame. Tali caratteristiche sono sensibili ad alcuni parametri caratteristici del suolo da bonificare come presenza di materiali humici, percentuale di materiale argilloso, umidità, etc.

Anche se non tutti i composti organici sono suscettibili di biodegradazione, tali tecniche sono state utilizzate con successo per la bonifica dei suoli, fanghi e acque contaminate da idrocarburi petroliferi, solventi, pesticidi, conservanti del legno e altri prodotti chimici organici.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti biologici in situ sono:

- Bioventing;
- Bioremediation;
- Phytoremediation.

Bioventing

E' una tecnica che, inducendo nel sottosuolo la circolazione di ossigeno, con l'eventuale aggiunta di nutrienti, stimola la biodegradazione aerobica dei contaminanti ad opera dei microrganismi naturalmente presenti nel sottosuolo. E' particolarmente indicata per suoli insaturi contaminati da Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Alifatici Clorurati e Alogenati, Clorobenzeni, Fenoli non Clorurati e Ammine aromatiche, mentre non è efficace su terreni eterogenei, poco permeabili o prossimi a falde.

Bioremediation

E' un processo in cui microrganismi contribuiscono alla degradazione di contaminanti organici presenti nel suolo, convertendoli in sostanze non nocive attraverso processi aerobici e anaerobici (la scelta è funzione della tipologia di contaminanti da trattare). Il vantaggio di tale tecnica è dato dalla completa distruzione dei contaminanti, da un basso rischio per i lavoratori e dal basso costo delle attrezzature ed equipaggiamenti necessari. E' indicata per trattare suoli contaminati da Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Alifatici Clorurati e Alogenati, Nitrobenzeni, Clorobenzeni, Fenoli (con minore efficacia per i Fenoli Clorurati) ed Ammine aromatiche.

Fitobiorimediazione

E' un processo che utilizza l'attività di organismi vegetali per rimuovere, trasferire, stabilizzare o distruggere i contaminanti presenti nei terreni e può essere applicata per la bonifica di Metalli, Clorobenzeni, Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Alifatici Clorurati e Alogenati, Fenoli, Ammine aromatiche .

✓ TRATTAMENTI FISICO/CHIMICI IN SITU

I trattamenti fisico-chimici sfruttano le proprietà fisiche e chimiche dei contaminanti al fine di convertirli chimicamente in specie meno pericolose e/o di contenerne la diffusione.

Le tecniche fisico-chimiche in genere sono efficaci, di rapida applicazione, non necessitano di tecnologie avanzate e non comportano l'assorbimento di rilevanti quantità di energia. A valle dei trattamenti di separazione, in genere, è necessario procedere ad ulteriori trattamenti e/o asportazione e smaltimento delle fasi separate. Anche in questo caso, il risultato è influenzato da alcuni parametri caratteristici del suolo da bonificare come presenza di materiali humici, percentuale di materiale argilloso, umidità, parametri idraulici, etc.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti fisico-chimici in situ sono:

- Ossidazione chimica;
- Ossidazione elettrochimica;
- Separazione elettrocinetica;
- Soil Flushing;
- Soil Vapour Extraction;
- Solidificazione/Stabilizzazione.

Ossidazione chimica

E' una tecnica che si applica al risanamento di terreno e acqua di falda. Il processo di Ossidazione Chimica si basa sulla trasformazione dei composti inquinanti pericolosi in composti non pericolosi (o meno tossici) mediante l'iniezione nella matrice contaminata (suolo saturo o insaturo) di una miscela reagente contenente un opportuno agente ossidante per mezzo di pozzi o trincee di iniezione. L'utilizzo di composti con potere fortemente ossidante permette l'ossidazione di composti organici recalcitranti all'ossidazione biologica (biodegradazione).

L'ossidazione chimica è particolarmente indicata per i composti Alifatici Clorurati perché il processo non produce cloruro di vinile, un comune prodotto della degradazione biologica, più pericoloso dei composti da cui si origina (Tetracloroetilene, Tricloroetilene, Dicloroetilene). I composti Alifatici Clorurati sono più sensibili all'ossidazione degli omologhi saturi che comunque sono ossidabili in condizioni cinetiche più favorevoli (ad esempio per catalisi o aumento di temperatura).

Ossidazione elettrochimica

E' una tecnica che consiste nell'applicare una corrente continua a basso voltaggio tra coppie di elettrodi posizionati nel terreno. Il mezzo poroso funziona come una cella elettrochimica dove avvengono reazioni di ossidazione e riduzione: l'applicazione di un campo elettrico nel terreno comporta fenomeni fisici (elettroosmosi, elettroforesi ed elettromigrazione) e chimici (elettrolisi dell'acqua, reazioni geochimiche) concernenti il terreno, l'acqua interstiziale ed i contaminanti presenti. Questa tecnologia è particolarmente indicata per il trattamento di suoli contaminati da Idrocarburi Alifatici Clorurati, e, con limitata efficienza, per Idrocarburi Alifatici Alogenati, Clorobenzeni, Fenoli Clorurati, Ammine Aromatiche, Fitofarmaci, Diossine e Furani.

Separazione elettrocinetica

È una tecnica utilizzata per la decontaminazione dei terreni a grana medio-fine e a permeabilità medio-bassa, basata sull'applicazione di un campo elettrico per mezzo di elettrodi infissi nel suolo: quello positivo o anodo e quello negativo o catodo. La rimozione dei contaminanti avviene attraverso meccanismi di avvezione di tipo elettroosmotico, per diffusione e per migrazione di ioni. Questa tecnica è particolarmente indicata per il trattamento di metalli e composti inorganici (ad eccezione di Arsenico e Mercurio); presenta invece una limitata efficienza per Idrocarburi Alifatici Alogenati e Clorurati, Clorobenzeni, Fenoli Clorurati, Ammine Aromatiche, Fitofarmaci, Diossine e Furani.

Soil Flushing

La tecnica consiste nella estrazione dei contaminanti dal suolo mediante iniezione in pozzetti, attraverso pozzi o trincee di infiltrazione, di una miscela composta da acqua e additivi che favorisca il passaggio in soluzione dei contaminanti. La soluzione di acqua e contaminanti viene quindi recuperata e trattata, ovvero può essere reiniettata e riutilizzata nel processo di bonifica.

Tale tecnica può essere utilizzata per il trattamento di Metalli e Idrocarburi Alifatici Clorurati e Alogenati; fornisce una limitata efficienza per Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Clorobenzeni, Fenoli, Ammine Aromatiche, Fitofarmaci, Diossine e Furani.

Soil Vapor Extraction

Il Soil Vapor Extraction è una tecnologia di bonifica dell'insaturo che consiste nell'applicazione di vuoto nel sottosuolo, mediante blower collegati a pozzi di estrazione; lo scopo è quello di creare un gradiente di pressione che, provocando un flusso diretto verso i pozzi di estrazione, favorisce la rimozione dei contaminanti volatili (e di alcuni semivolatili). L'applicazione del vuoto, inducendo la circolazione di aria nel sottosuolo, ha anche l'effetto di stimolare i processi di biodegradazione aerobica dei contaminanti organici.

La tecnologia si applica principalmente per la bonifica di Idrocarburi Aromatici, Idrocarburi Policiclici Aromatici, Alifatici Clorurati, Alifatici Alogenati e Fenoli non clorurati presenti nel sottosuolo a profondità non troppo elevate; non ha efficacia nella zona satura.

Solidificazione/Stabilizzazione

Questa tipologia di bonifica consiste nella riduzione/eliminazione della mobilità dei contaminanti intrappolandoli o immobilizzandoli all'interno del suolo, per mezzo di processi fisici o chimici applicati direttamente in sito.

La tecnologia si applica principalmente per il trattamento di composti inorganici; è stata testata con differente efficacia su un ampio range di VOCs e SVOCs, diossine e PCB.

✓ TRATTAMENTI TERMICI IN SITU

Il trattamento termico offre discreta rapidità di applicazione, ma è generalmente annoverabile tra le tecniche più costose a causa degli ingenti assorbimenti energetici. Il trattamento termico consiste essenzialmente in una somministrazione di calore al suolo per aumentare la volatilità dei contaminanti o addirittura per giungere alla temperatura di fusione del suolo in modo da distruggere i contaminanti organici e incapsulare quelli inorganici (vetrificazione).

La tecnica maggiormente diffusa riconducibile al trattamento termico in situ è:

Trattamento termico

La tecnica si basa sull'estrazione degli inquinanti mediante la volatilizzazione dei composti semivolatili tramite insufflazione di vapore o riscaldamento a radiofrequenze. Nel processo di estrazione con vapore si prevede l'iniezione di vapore nel suolo mediante pozzetti di immissione collocati lungo il perimetro della zona contaminata con temperature variabili tra 150°C e 230°C: il vapore iniettato genera un fronte che volatilizza i contaminanti e li incanala verso i pozzi di estrazione. L'altro processo si basa sull'emissione di onde elettromagnetiche nel campo delle radio frequenze mediante elettrodi inseriti nei pozzi e connessi ad un trasmettitore di onde radio, raggiungendo temperature tra 100°C e 300°C: dagli stessi pozzi si aspirano i vapori contaminati. E' indicato per il trattamento di suoli contaminati da Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Idrocarburi Alifatici Alogenati e Clorurati, Clorobenzeni, Fenoli, Ammine Aromatiche, Fitofarmaci, Diossine e Furani.

6.2.2 Trattamenti ex situ

Il vantaggio principale dei trattamenti ex situ è che richiedono periodi di tempo più brevi rispetto a quelli in situ e garantiscono una maggiore uniformità di trattamento dei suoli grazie alla possibilità di mescolarli ed omogeneizzarli continuamente. Tuttavia questi trattamenti comportano un aumento dei costi di lavorazione in campo per scavi, movimentazione e trasporto dei suoli, la manipolazione e la conseguente esposizione dei lavoratori impegnati ad agenti potenzialmente dannosi per la salute e sicurezza.

✓ TRATTAMENTI BIOLOGICI EX SITU

I trattamenti biologici ex situ, applicabili per la bonifica da composti chimici organici, sono tecniche dirette a stimolare la crescita di microrganismi mediante la creazione di un ambiente favorevole in modo che tali microrganismi utilizzino i contaminanti come alimento e fonte di energia. In generale la creazione di un ambiente favorevole, più agevole rispetto al caso di trattamenti in situ, avviene ottenendo una combinazione di

ossigeno, nutrienti, umidità, temperatura e ph adatta alla proliferazione dei microrganismi maggiormente idonei per la degradazione dei contaminanti specifici del caso in esame. Tali caratteristiche sono sensibili ad alcuni parametri caratteristici del suolo da bonificare come presenza di materiali humici, percentuale di materiale argilloso, umidità, etc. Anche se non tutti i composti organici sono suscettibili di biodegradazione, tali tecniche sono state utilizzate con successo per la bonifica dei suoli, fanghi e acque contaminate da idrocarburi petroliferi, solventi, pesticidi, conservanti del legno e altri prodotti chimici organici.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti biologici ex situ sono:

- Biopile;
- Compostaggio;
- Landfarming;
- Bioreattori.

Biopile

La tecnica viene utilizzata per ridurre le concentrazioni di composti del petrolio attraverso processi di biodegradazione. L'intervento, che prevede l'escavazione dei terreni contaminati, consiste nella miscelazione con ammendanti dei suoli e nel trasferimento in un'area di trattamento.

Il terreno scavato viene disposto in strati sovrapposti inserendo alternativamente tubi forati per la distribuzione nel materiale contaminato di aria e soluzioni nutrienti e tubi di estrazione dell'aria dall'ammasso. L'aria estratta viene trattata prima dell'emissione in atmosfera.

L'area di trattamento può essere realizzata con differenti livelli di ingegnerizzazione; in generale comunque si dovrà prevedere la realizzazione di sistemi di collettamento del percolato e in alcuni casi, quando tra i contaminanti sono presenti composti volatili, di sistemi di recupero dei vapori.

La tecnologia si applica principalmente per il trattamento di Idrocarburi Alifatici Clorurati e Alogenati, Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Clorobenzeni, Fenoli. Per altri tipi di composti (Ammine Aromatiche, Fitofarmaci e Diossine e Furani) l'efficacia può variare in funzione di specifiche condizioni.

Compostaggio

Il Compostaggio è un processo biologico controllato attraverso il quale i contaminanti sono convertiti da microrganismi (in condizioni aerobiche ed anaerobiche) in innocui sottoprodotti stabili. Durante il processo la temperatura tende a crescere a causa del calore prodotto dai microrganismi durante la biodegradazione. Il suolo viene scavato e mescolato con ammendanti organici che hanno lo scopo di aumentarne la porosità. La massima efficienza del sistema si ottiene mantenendo l'ossigenazione, irrigando se necessario e mantenendo un rigoroso controllo della temperatura e delle condizioni di miscelamento. La tecnologia è particolarmente efficace per Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Nitrobenzeni, Clorobenzeni e Fenoli non clorurati.

Landfarming

Il Landfarming è una tecnologia di bioremediation che prevede l'escavazione e il trattamento di suolo o sedimento contaminato. I terreni scavati sono disposti in strati di qualche decina di centimetri di spessore periodicamente movimentati con mezzi meccanici per favorire l'ossigenazione. La tecnologia è stata applicata con successo nel trattamento di terreni contaminati da Idrocarburi pesanti mentre è preferibile trattare quelli leggeri e volatili con altre tecniche (ad esempio soil vapour extraction o bioventing).

Bioreattori

I Bioreattori sono una tecnica che mira a ridurre le concentrazioni di contaminanti nelle acque sotterranee e nel suolo mediante microrganismi. Il materiale da trattare viene dapprima separato fisicamente dalla porzione di granulometria più grossolana, quindi viene mescolato con acqua in percentuali variabili in funzione dell'inquinante da trattare, dalla velocità di degradazione e dalle caratteristiche fisiche del suolo. Nel trattamento biologico con bioreattori in fase slurry sono presenti dal 10 al 30% (in peso) di materiali solidi, che sono mantenuti sospesi nel reattore e mescolati con nutrienti e ossigeno; si apportano acidi o basi per controllare il ph ed eventualmente altri microrganismi se necessario. Una volta completata la biodegradazione si elimina l'acqua (mediante filtri, chiarificatori, centrifughe, ...).

I bioreattori sono una tecnologia a breve-medio termine applicabile ad Idrocarburi Alifatici Clorurati e Alogenati, Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Clorobenzeni, Fenoli, Ammine Aromatiche.

- ✓ TRATTAMENTI CHIMICO-FISICI EX SITU

I trattamenti fisico-chimici sfruttano le proprietà fisiche e chimiche dei contaminanti al fine di convertirli chimicamente in specie meno pericolose e/o di contenerne la diffusione. Le tecniche di trattamento fisico-chimico ex situ tendono a stabilizzare o a separare il contaminante. Le tecniche fisico-chimiche ex situ in genere sono efficaci, di rapida applicazione, non necessitano di tecnologie avanzate e non comportano l'assorbimento di rilevanti quantità di energia; gli inconvenienti maggiori sono quelli dovuti alla necessità di eseguire scavi/scotici e movimentazioni di materiale contaminato. A valle dei trattamenti di separazione, in genere, è necessario procedere allo smaltimento delle fasi separate.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti fisico-chimici in situ sono:

- Estrazione chimica;
- Ossidazione/Riduzione chimica;
- Soil Washing;
- Solidificazione/Stabilizzazione.

Estrazione chimica

L'Estrazione chimica è una tecnologia che non distrugge i contaminanti ma comporta la separazione degli stessi dal suolo o dai sedimenti, riducendo il volume di terreno contaminato da trattare. E' un processo che si differenzia dal Soil Washing che usa acqua o acqua additivata. Spesso sono usati processi di separazione fisica prima dell'Estrazione chimica in modo da isolare le particelle più piccole che concentrano la parte più rilevante della contaminazione. Si distinguono due processi fondamentali.

- L'estrazione chimica mediante acido cloridrico è usata per l'estrazione di metalli pesanti dai suoli.
- L'estrazione mediante solventi utilizza solventi organici per rimuovere SVOCs, VOCs, Metalli e Inquinanti di origine petrolifera.

Ossidazione/Riduzione chimica

Le reazioni di Riduzione-Ossidazione (Redox) chimica convertono i contaminanti in sostanze non pericolose o poco tossiche, con caratteristiche più stabili, meno mobili o addirittura inerti. Il processo comporta l'ossidazione di una sostanza (perdita di elettroni) e la riduzione dell'altra (acquisizione di elettroni). E' un processo particolarmente indicato per il Cromo, mentre per altri tipi di composti (Idrocarburi, Nitrobenzeni, Clorobenzeni, Ammine Aromatiche, Fitofarmaci e Diossine e Furani) l'efficacia può variare in funzione di specifiche condizioni.

Soil Washing

La tecnologia prevede una prima fase in cui avviene la separazione, con metodi fisici, della frazione fine di terreno, sulla quale sono adsorbiti i contaminanti, e il suo successivo trattamento con processi fisico/chimici per la rimozione dei composti inquinanti. I processi di trattamento che è possibile attuare sulla frazione separata sono generalmente mutuati da altre tecniche di bonifica, rendendo così possibile trattare un gran numero di composti inquinanti (metalli pesanti e contaminanti organici).

La tecnologia è applicabile nel trattamento di terreni contaminati da Metalli e Diossine e Furani; per i Clorobenzeni, Fenoli clorurati, Ammine Aromatiche e Fitofarmaci l'efficacia varia in funzione di specifiche condizioni.

Solidificazione/Stabilizzazione

La Solidificazione/Stabilizzazione non è una vera e propria tecnologia di bonifica, ma è un processo che si limita a fissare gli inquinanti e non a rimuoverli. Tale metodologia consiste nel rendere inerti i composti inquinanti intrappolandoli fisicamente all'interno di una matrice solida (solidificazione) e/o generando delle reazioni chimiche che riducono la tendenza dei contaminati, presenti nel composto da bonificare, a separarsi, diminuendone quindi la solubilità, la mobilità e la tossicità. La fase di solidificazione trasforma il rifiuto in un materiale solido ad alta integrità strutturale, riducendo la mobilità degli inquinanti e quindi la loro possibile dispersione nell'ambiente. La destinazione del materiale risultante dal processo di solidificazione può essere la discarica o il riutilizzo come riempimento per pavimentazioni stradali o per l'edilizia.

E' una tecnologia adatta al trattamento dei composti inorganici; è limitata l'efficacia per i Clorobenzeni, i Fenoli clorurati, le Ammine Aromatiche, i Fitofarmaci e Diossina e Furani.

✓ TRATTAMENTI TERMICI EX SITU

Il trattamento termico offre discreta rapidità di applicazione, ma è generalmente annoverabile tra le tecniche più costose a causa degli ingenti assorbimenti energetici, anche se la differenza di costo è più marcata nel caso di

trattamenti in situ. Il trattamento termico consiste essenzialmente in una somministrazione di calore al suolo per aumentare la volatilità dei contaminanti o addirittura per giungere alla temperatura di fusione del suolo in modo da distruggere i contaminanti organici e incapsulare quelli inorganici (vetrificazione). Il trattamento termico comporta la produzione di gas, ceneri ed eventualmente effluenti liquidi che richiedono un successivo trattamento o smaltimento, che comunque è relativo a volumi di molto ridotti.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili al trattamento termico ex situ sono:

- Incenerimento/Pirolisi;
- Desorbimento termico.

Incenerimento/Pirolisi

Nella tecnologia dell'Incenerimento i terreni/rifiuti scavati, contaminati da composti organici, sono bruciati ad alte temperature, in genere comprese tra 900 e 1200°C, in presenza di ossigeno.

La tecnologia della Pirolisi comporta la degradazione termica dei contaminanti in assenza di ossigeno. La pirolisi è un processo termico che trasforma le sostanze organiche inquinanti in composti gassosi, piccole quantità di liquidi e residui carboniosi. Generalmente si opera a temperature moderate, intorno ai 450°C, inferiori rispetto ai processi di incenerimento descritti in precedenza. I prodotti gassosi sono costituiti da CO, H₂, CH₄ e altri idrocarburi di basso peso molecolare la cui formazione può richiedere un ulteriore trattamento prima della emissione in atmosfera.

Queste tecnologie si applicano con notevole efficacia al trattamento di composti organici.

Desorbimento Termico

Il Desorbimento Termico comporta la separazione fisica di contaminanti organici dalla matrice, mediante un riscaldamento diretto o indiretto a temperature che variano da 150 °C a 500 °C. Il sistema favorisce la volatilizzazione dei contaminanti, ma non comporta la distruzione delle molecole, sebbene le temperature elevate di alcuni sistemi favoriscono una locale ossidazione o pirolisi. La tecnica non è da confondere con l'incenerimento, poiché l'obiettivo non è quello di distruzione dei contaminanti ma semplicemente di separarli e trattare successivamente i vapori estratti.

Tutti gli impianti di Desorbimento Termico richiedono sistemi di trattamento dei gas estratti per la rimozione del particolato e dei contaminanti presenti.

I sistemi a bassa temperatura sono stati utilizzati con successo per il trattamento di terreni contaminati da idrocarburi leggeri e VOCs non alogenati; i sistemi ad alta temperatura sono in grado di trattare SVOCs, IPA e PCB e, in alcuni casi anche metalli volatili (Mercurio).

6.3 Principali tecnologie applicabili alla matrice acque sotterranee e superficiali

6.3.1 Trattamenti biologici in situ

Il vantaggio principale dei trattamenti biologici in situ è che permettono di effettuare trattamento della falda inquinata senza ricorrere all'emungimento della stessa, con conseguente abbattimento dei costi. Tali trattamenti tuttavia richiedono tempi lunghi e non garantiscono l'omogeneità dei risultati e la possibilità di verificarli.

I trattamenti biologici in situ, applicabili per la bonifica da composti chimici organici, sono tecniche dirette a stimolare la crescita di microrganismi mediante la creazione di un ambiente favorevole in modo che tali microrganismi utilizzino i contaminanti come alimento e fonte di energia. In generale la creazione di un ambiente favorevole avviene ottenendo una combinazione di ossigeno, nutrienti, temperatura e pH adatta alla proliferazione dei microrganismi maggiormente idonei per la degradazione dei contaminanti specifici del caso in esame. Anche se non tutti i composti organici sono suscettibili di biodegradazione, tali tecniche sono state utilizzate con successo per la falde contaminate da idrocarburi petroliferi, solventi, pesticidi, conservanti del legno e altri prodotti chimici organici.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti biologici in situ delle acque sono:

- Monitored Natural Attenuation;
- Bioremediation;
- Phytoremediation.

Monitored Natural Attenuation

La *Attenuation* naturale non è di per se una tecnologia di bonifica, in quanto consiste nel semplice monitoraggio dei processi che avvengono spontaneamente in falda (diluizione, volatilizzazione, biodegradazione, adsorbimento e reazioni chimiche) e che portano alla riduzione delle concentrazioni di contaminanti.

L'applicazione di solito richiede la predisposizione di modelli di simulazione e valutazione del tasso di degradazione dei contaminanti nonché la verifica dell'ipotesi delle concentrazioni in corrispondenza di potenziali recettori, soprattutto quando la piuma di contaminazione è ancora in fase di espansione mediante la predisposizione di un programma di monitoraggio a lungo termine.

La tecnica ha il suo campo di applicazione più idoneo nel trattamento di composti organici, che subiscono processi di biodegradazione ad opera dei microrganismi presenti .

Bioremediation

La Bioremediation è un insieme di tecnologie che utilizzano microrganismi naturali o ricombinanti per abbattere sostanze tossiche e pericolose attraverso processi aerobici e anaerobici. Tali processi possono essere applicati in situ sfruttando i microrganismi residenti o attraverso l'introduzione di ceppi batterici o fungini. E' indicata per trattare falde contaminate da Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Alifatici Clorurati e Alogenati, Fenoli non Clorurati ed Ammine aromatiche.

Phytoremediation

La Phytoremediation è un processo che utilizza l'attività delle piante per rimuovere, trasferire, stabilizzare o distruggere i contaminanti presenti nelle acque di falda e può essere applicata per la bonifica di Metalli, Clorobenzeni, Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Alifatici Clorurati e Alogenati, Fenoli, Ammine aromatiche, Fitofarmaci e Diossine e Furani (vedere Matrice di screening per la valutazione dell'efficacia specifica sui singoli composti).

6.3.2 Trattamenti chimico fisici in situ

Il principale vantaggio dei trattamenti in situ consiste nel fatto che le acque senza che queste non devono essere portate in superficie, con un conseguente risparmio sui costi. Generalmente i processi di trattamento in situ richiedono tempi maggiori, l'uniformità dei trattamenti non è garantita a causa della variabilità delle caratteristiche della falda acquifera ed inoltre risulta più complicato verificare l'efficacia del processo. I trattamenti chimico-fisici in situ utilizzano le proprietà fisiche dei contaminanti per convertirli in specie chimiche meno pericolose (es. conversione chimica), o separare gli agenti contaminanti.

A valle dei trattamenti di separazione, in genere, è necessario procedere ad ulteriori trattamenti e/o asportazione e smaltimento delle fasi separate.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti biologici in situ delle acque sono:

- Air sparging
- Ossidazione Chimica
- Ossidazione Elettrochimica
- In Well Air stripping
- Dual/Multi Phase Extraction
- Barriere permeabili reattive.

Air sparging

E' una tecnologia che prevede l'immissione di aria in falda, con il duplice fine di ossigenare la falda stimolando così i processi di degradazione aerobica dei contaminanti e di favorire il trasferimento dei composti inquinanti volatili verso lo spessore insaturo. I gas liberati vengono estratti accoppiando un sistema di SVE anche per evitare l'eventuale migrazioni degli inquinanti al di fuori della zona da trattare.

I contaminanti per i quali la tecnologia fornisce i migliori risultati sono i composti organici volatili e i prodotti petroliferi leggeri (benzine). L'aggiunta di metano alla miscela iniettata può favorire il cometabolismo di composti organici clorurati.

Ossidazione chimica

Per la descrizione della tecnologia si rimanda a quanto riportato nel paragrafo relativo agli interventi di bonifica dei terreni.

Ossidazione elettrochimica

Per la descrizione della tecnologia si rimanda a quanto riportato nel paragrafo relativo agli interventi di bonifica dei terreni.

In-Well Air Stripping

In questa tecnologia, l'aria viene iniettata all'interno di un pozzo verticale fessurato a due differenti profondità. Il tratto fenestrato inferiore è situato nella zona satura mentre quello superiore viene posizionato nell'insaturo.

Per effetto dell'iniezione di aria in pressione, l'acqua contaminata entra nel pozzo dal tratto fenestrato inferiore, risale all'interno del pozzo e fuoriesce dal tratto fenestrato superiore. I composti organici volatili presenti nell'acqua sono "strippati" all'interno del pozzo, al di sopra del livello piezometrico, e sono quindi estratti da un sistema di recupero vapori. L'acqua parzialmente trattata non viene mai portata in superficie bensì, fuoriuscendo dal tratto fenestrato superiore, viene nuovamente captata e subisce un nuovo ciclo di trattamento. In questo modo le concentrazioni di contaminanti dissolte diminuiscono progressivamente.

I sistemi di strippaggio in pozzo sono generalmente applicati per la bonifica in siti in cui la profondità della falda è notevole, in modo da minimizzare i costi di pompaggio.

I contaminati per i quali la tecnologia fornisce i migliori risultati sono gli Idrocarburi Aromatici e Policiclici Aromatici, Idrocarburi Alifatici Clorurati e Alogenati e Fenoli non Clorurati.

Dual/Multi Phase Extraction

La tecnica Dual Phase Extraction si utilizza per la bonifica di siti contaminati da prodotti petroliferi per mezzo del pompaggio e della contemporanea applicazione di una depressione a testapozzo. Il pompaggio e la depressione indotta permettono di rimuovere contemporaneamente l'acqua contaminata, l'eventuale prodotto in galleggiamento e i vapori presenti nella zona insatura. Le differenti fasi sono raccolte, separate e quindi inviate al trattamento prima dello scarico.

La tecnologia si applica principalmente al trattamento di siti contaminati da prodotti petroliferi e VOCs in presenza di fase separata (LNAPLs). Non è efficace nel caso di formazioni con valori di permeabilità molto bassa.

Barriere permeabili reattive

Il principio di funzionamento di una barriera permeabile reattiva consiste nel "filtrare in situ" l'acqua di falda ponendo, all'interno di pozzi o trincee, materiale in grado di eliminare i contaminanti mediante decomposizione, precipitazione o immobilizzazione.

In genere, le barriere reattive vengono poste ortogonalmente alla direzione di flusso, laddove il moto dell'acqua è determinato dal gradiente piezometrico naturalmente presente nella falda. In alcuni casi è possibile prevedere l'installazione di pozzi di emungimento per modificare il deflusso della falda stessa, e indirizzarla attraverso la barriera reattiva.

Le configurazioni adottabili possono essere molteplici, sebbene le più comuni siano la barriera continua e la configurazione funnel & gate, dove il flusso è convogliato verso la zona di trattamento (gate) da barriere fisiche poste a funzione di "imbuto" (funnel).

La tecnologia può essere applicata per il trattamento di contaminanti organici e inorganici (vedere matrice di screening).

6.3.3 Trattamenti biologici ex situ

Il vantaggio principale dei trattamenti ex situ è che essi richiedono generalmente periodi di applicazione più brevi rispetto a quelli in situ e vi è una maggiore uniformità di trattamento grazie alla possibilità di monitorare e miscelare continuamente le acque. Tuttavia i trattamenti ex situ richiedono il pompaggio delle acque sotterranee con un conseguente aumento dei costi per le attrezzature, per le autorizzazioni, e per la manipolazione da parte di personale conseguentemente soggetto a potenziali rischi di esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici.

Tali tecniche sono dirette a stimolare la crescita dei microrganismi che utilizzano i contaminanti come fonte di alimento e energia, creando un ambiente favorevole per gli stessi. In generale, ciò significa fornire una giusta combinazione di ossigeno e nutrienti con condizioni di temperatura e pH controllate. A volte per rafforzare il processo degradativo vengono utilizzati microrganismi opportunamente adattati.

I processi biologici sono generalmente a basso costo. I contaminanti vengono completamente degradati, e non si attuano ulteriori trattamenti.

Un vantaggio rispetto alle applicazioni in situ è che nelle applicazioni ex situ i sottoprodotti sono contenuti in unità che operano il trattamento fino a quando i prodotti finali non sono più pericolosi.

Anche se non tutti i composti organici sono trattabili, le tecniche sono state utilizzate con successo per la bonifica dei suoli, di fanghi e di acque sotterranee contaminate da idrocarburi, solventi, pesticidi, conservanti del legno, e di altri prodotti chimici organici.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti biologici ex situ delle acque sono:

- Bioreattori;
- Lagunaggi.

Bioreattori

Per la descrizione della tecnologia si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 2.6.2.2 relativo agli interventi di bonifica dei suoli ex situ.

Lagunaggi

E' una tecnologia che impiega i principali componenti degli ecosistemi palustri quali suoli organici, fauna microbica, alghe e piante vascolari, anche se la maggior parte del processo di bonifica viene svolto dai microrganismi. Le acque da trattare, con elevate concentrazioni di metalli e pH, vengono fatte scorrere attraverso le sezioni aerobiche ed anaerobiche dell'ecosistema palustre. I metalli vengono rimossi attraverso lo scambio ionico, l'assorbimento, l'adsorbimento e la precipitazione con ossidazione e riduzione geochimica e biochimica. Le paludi costruite per questo scopo spesso non presentano un vero e proprio suolo, generalmente sostituito da paglia, letame o compost. Le reazioni di ossidazione e di riduzione catalizzate dai batteri che avvengono nelle zone aerobiche servono per precipitare i metalli sotto forma di idrossidi, mentre quelle che avvengono nelle zone anaerobiche servono per precipitare i solfiti. La palude, infatti, con le piante emergenti costituisce un vero e proprio sistema accoppiato aerobico-anaerobico. Alla fine del processo i metalli precipitati ed adsorbiti si depositano in pozze di quiescenza oppure vengono filtrati quando l'acqua percola attraverso il mezzo o le piante. Le paludi artificiali rappresentano una tecnologia a lungo termine, dal momento che possono essere necessari anni per raggiungere gli obiettivi di depurazione. Questa tecnologia è molto efficace per il trattamento di acque contaminate da Composti Inorganici e Nitrobenzeni; per i Composti Organici l'efficacia varia in funzione delle specifiche condizioni.

6.3.4 Trattamenti chimico-fisici ex situ

Il vantaggio principale dei trattamenti ex situ è che essi richiedono generalmente periodi di applicazione più brevi, vi è una maggiore uniformità di trattamento grazie alla possibilità di monitorare e miscelare continuamente le acque. Tuttavia i trattamenti ex situ richiedono il pompaggio delle acque sotterranee con un conseguente aumento dei costi per le attrezzature, per le autorizzazioni, e per la manipolazione da parte di personale conseguentemente soggetto a potenziali rischi di esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici.

I trattamenti chimico-fisici utilizzano le proprietà fisiche dei contaminanti per convertire in composti meno pericolosi (es. conversione chimica) separare, o contenere la contaminazione.

I trattamenti chimico-fisici generalmente sono molto efficaci ed in confronto al trattamento biologico sono caratterizzati da una maggiore rapidità di azione. Le attrezzature sono quelle dell'ingegneria idraulica tradizionale e dunque relativamente economiche e facilmente reperibili, non vi sono elevati dispendi energetici e di ingegnerizzazione. I trattamenti residui da affrontare con le tecniche di separazione richiedono che i prodotti finali (scarti) vengano ulteriormente trattati o smaltiti, con un conseguente incremento dei costi di progetto e con la richiesta di particolari autorizzazioni.

Le tecniche maggiormente diffuse riconducibili ai trattamenti biologici ex situ delle acque sono:

- Processi di ossidazione avanzata;
- Air Stripping;
- Adsorbimento su Carboni attivi;
- Pump and treat;
- Scambio Ionico
- Barriere fisiche e barriere idrauliche

Processi di ossidazione avanzata

I Processi di ossidazione avanzata sono processi distruttivi mirati alla ossidazione di componenti organici ed esplosivi in acque contaminate, mediante inoculazione di forti ossidanti o irraggiamento con raggi UV, mediante la formazione in acqua di radicali ossidrilici, di natura fortemente ossidante. Il maggior vantaggio di questa tecnologia è data dalla distruzione completa dei contaminanti, a differenza di altri processi in cui i contaminanti sono estratti e concentrati in fase separata. E' efficace per il trattamento di acqua contaminata da Composti Organici.

Att stripping

E' un sistema di trattamento che rimuove mediante stripping i composti organici volatili (VOC) da acque inquinate, di falda o superficiali, forzando il passaggio dell'aria attraverso l'acqua facendola così evaporare in apposite torri di stripping. La tecnologia consiste nel far incontrare in controcorrente un flusso di aria pulita con uno di acqua contaminata da composti volatili, in modo che i contaminanti passino dalla fase liquida a quella di vapore. Al termine del processo si ottengono un flusso di acqua pulita ed uno di aria caricata dei contaminanti estratti, che potranno essere condensati o trattati.

Questa tecnologia è efficace per il trattamento di inquinamento da Idrocarburi Alifatici Clorurati e Alogenati.

Adsorbimento su Carboni attivi

La tecnologia di Adsorbimento su Carboni Attivi è un processo di carattere essenzialmente fisico che si basa sulle proprietà del carbone attivo di adsorbire, grazie alla sua porosità, la maggior parte delle sostanze organiche presenti e sulla conseguente possibilità di estrarle utilizzando vapore o azoto. Il carbone attivo è caratterizzato da una porosità estremamente elevata ed è costituito per la gran parte da atomi di carbonio di origine vegetale o minerale. Questa tecnologia è molto efficace per il trattamento di Inquinanti Organici, mentre per una contaminazione da Metalli presenta una limitata efficacia.

Pump and Treat

Il Pump and Treat è uno dei sistemi di bonifica delle falde inquinate più applicati a livello nazionale ed internazionale. I sistemi di Pump and Treat possono avere l'obiettivo di rimuovere i contaminanti dissolti o anche di sbarrare idraulicamente il deflusso delle acque contaminate verso potenziali recettori presenti all'esterno dell'area contaminata.

In presenza di prodotto in galleggiamento, i sistemi di recupero delle fasi separate (NAPL) sono progettati per effettuare il pompaggio dei NAPL e dell'acqua di falda da pozzi o trincee di recupero. Il pompaggio rimuove l'acqua e, abbassando il livello piezometrico in corrispondenza del pozzo, crea un cono di depressione che favorisce il richiamo della fase separata presente in galleggiamento, all'interno del pozzo.

Il pompaggio può essere realizzato utilizzando una o due pompe: nella configurazione con pompa singola (Single Pump) la fase separata viene estratta insieme all'acqua rendendo spesso necessario l'implementazione in superficie di un sistema di separazione delle fasi. Nella configurazione a doppia pompa (Dual Pump) una pompa viene posizionata sul fondo del pozzo per l'emungimento dell'acqua e la conseguente creazione del cono di depressione, la seconda pompa viene posta all'interfaccia acqua prodotto, per il recupero della fase separata.

Il sistema oltre al trattamento di inquinamento da prodotti e derivati del petrolio è molto efficace per il trattamento da contaminazione da composti inorganici e di Diossina e Furani.

Scambio ionico

Lo Scambio ionico è una tecnologia in cui gli ioni mobili di una matrice solida sono scambiati con gli ioni aventi simile carica elettrica presenti in soluzione; per lo scopo si utilizzano composti inorganici e metalli pesanti. Le matrici di scambio sono in genere solidi porosi (zeoliti naturali o resine sintetiche) costituiti da molecole complesse formate da ioni di una determinata carica. Gli ioni presenti in soluzione possono prendere il posto di questi e fissarsi alle resine, per poi essere recuperati in un secondo tempo. Il processo viene regolato mediante il controllo dell'acidità, della composizione della soluzione e del tipo di resina da scagliere. La tecnologia si applica essenzialmente ad acque contaminate da Composti Inorganici.

Barriere fisiche e barriere idrauliche

Si tratta di interventi molto ricorrenti per le falde, che possono definirsi ausiliari a quelli di trattamento veri e propri precedentemente descritti.

Esse non hanno alcun effetto di riduzione delle concentrazioni di contaminanti e dunque possono essere considerate opere funzionali alla ottimale applicazione di sistemi di trattamento delle acque. Lo scopo delle barriere fisiche o idrauliche è quello di evitare la diffusione della contaminazione dall'area sorgente verso i potenziali recettori e/o o di provocare la deviazione locale del flusso della falda, funzionale all'aumento di efficacia di eventuali sistemi di trattamento.

Da osservare che le barriere fisiche possono essere impiegate in presenza di qualunque tipologia e concentrazione di contaminanti, anche se alcuni composti possono danneggiare i materiali o le miscele di materiali impiegate per la barriera e quindi comprometterne l'efficacia nel tempo. E' pertanto necessario verificare la compatibilità dei materiali utilizzati per le barriere con i contaminanti presenti .

La possibilità di messa in opera delle barriere fisiche nel sottosuolo è funzione della litologia del sito e della profondità che si intende raggiungere.

7 TECNOLOGIE DI BONIFICA APPLICABILI AI SITI PUBBLICI INSERITI IN ANAGRAFE

I siti pubblici e/o di competenza pubblica inseriti nell' ASB del presente Piano sono rappresentati da:

- Discariche;
- sedimenti delle aree a mare e delle aree lacustri dei SIN.

7.1 Tecnologie di bonifica applicabili alle discariche

Escavazione e smaltimento off-site

L' escavazione dei rifiuti presenti e lo smaltimento in una discarica autorizzata, attrezzata con tutti i presidi previsti dalla normativa vigente, rappresenta una scelta fortemente vincolata dal rapporto costi/benefici dell'operazione e dalla reale possibilità di reperire volumi di conferimento disponibili a distanze accettabili dal sito di asporto.

Tale scelta può essere pertanto ritenuta idonea solo nel caso in cui i volumi da smaltire siano molto limitati e comunque valutando accuratamente i seguenti aspetti:

- la rimozione e la conseguente movimentazione dei materiali deve poter essere effettuata in condizioni di assoluta sicurezza, senza causare pericolo per la salute e per l'ambiente;
- devono essere accuratamente valutati i percorsi e le condizioni di trasporto dei materiali;
- deve essere disponibile ad una distanza ragionevole un sito idoneo, autorizzato allo smaltimento di quella tipologia di materiali .

In ogni caso tale scelta, per volumi rilevanti, e facendo salvi casi particolari, è da ritenersi eccezionale e difficilmente attuabile. Comunque, ove il progetto preveda l'allontanamento dei rifiuti, dovrà essere indicato anche l'impianto di smaltimento al quale questi verranno conferiti, la relativa capacità ricettiva residua e la compatibilità con i rifiuti originati.

Messa in sicurezza permanente

La messa in sicurezza permanente è l'insieme degli interventi atti ad isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti ed a garantire un elevato e definitivo livello di sicurezza per le persone e per l'ambiente. In tali casi devono essere previsti piani di monitoraggio e controllo e limitazioni d'uso rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici.

Gli interventi di messa in sicurezza permanente si attuano quando, a seguito di valutazioni ambientali, tecniche ed economiche si dimostri la impossibilità , nonostante l'applicazione delle migliori tecnologie disponibili, a costi sopportabili, di procedere alla rimozione delle fonti inquinanti.

Al fine di consentire l'isolamento definitivo dei rifiuti dall'ambiente circostante gli interventi devono prevedere:

- isolamento superficiale: dovrà essere realizzato secondo quanto previsto dall'Allegato 1 al D.Lgs. n. 36/03 ovvero tramite copertura mediante una struttura multistrato costituita, dall'alto verso il basso, almeno dai seguenti strati:
 - o strato superficiale di copertura con spessore ≥ 1 m che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del piano di ripristino ambientale e fornisca una protezione adeguata contro l'erosione ed abbia la funzione di proteggere le barriere sottostanti dalle escursioni termiche;
 - o strato drenante, protetto da eventuali intasamenti, con spessore $\geq 0,5$ m in grado di impedire la formazione di un battente idraulico sopra le barriere di cui ai successivi punti 3) e 4);
 - o strato minerale compattato dello spessore $\geq 0,5$ m e di conducibilità idraulica di 10-8 m/s o di caratteristiche equivalenti, integrato da un rivestimento impermeabile superficiale per gli impianti di discarica di rifiuti pericolosi;
 - o strato di drenaggio del gas e di rottura capillare, protetto da eventuali intasamenti, con spessore ≥ 0.5 m;
 - o strato di regolarizzazione dei rifiuti con la funzione di permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti”.
- Isolamento perimetrale: dovrà essere realizzato tramite barriere costituite da materiali a bassa permeabilità (bentonite, argilla, calcestruzzo adeguatamente trattato), che dovranno essere ammorsate in strati di fondo

poco permeabili in modo da interrompere i flussi di liquidi contaminati verso strati profondi di sottosuolo o verso corpi idrici sotterranei.

- Isolamento del fondo: da realizzarsi nel caso in cui, ad es. per l'assenza di livelli naturali poco permeabili, sia necessario procedere anche ad isolare il fondo del corpo rifiuti.

7.2 Tecnologie di bonifica applicabili ai sedimenti marini e lacustri

Per la bonifica di sedimenti è possibile operare, a seconda dell'entità della contaminazione dei volumi e delle superfici coinvolte, attraverso:

- interventi di trattamento in situ;
- rimozione ed invio a discarica o ad un opportuno impianto di trattamento;
- rimozione e ricollocamento in strutture di confinamento realizzate in ambito portuale o costiero (vasche di colmata);

Le tecniche e tecnologie utilizzabili per la bonifica dei sedimenti sono del tutto analoghe a quelle descritte per la bonifica dei suoli, sebbene caratterizzate da ulteriori difficoltà dovute essenzialmente all'umidità del materiale da trattare, alla composizione granulometrica e, nel caso di sedimenti marini, alla presenza interstiziale di soluzioni altamente saline, che possono inibire o rallentare taluni meccanismi di bonifica.

Tra gli interventi sopra menzionati dovrebbero essere privilegiate le tecnologie in situ, che minimizzano le problematiche relative alla movimentazione ed al conferimento ex situ dei sedimenti contaminati.

Tali tecnologie comportano un minore impatto da un punto di vista ecologico in quanto:

- non creano torbidità dovuta alle operazioni di dragaggio dei sedimenti;
- non comportano scompensi sedimentologici e quindi non prevedono ripristini morfobatimetrici successivi alle operazioni di escavo;
- non rimuovono le comunità biologiche e microbiologiche, che vengono invece utilizzate ed incrementate ai fini della degradazione biologica dei contaminanti organici;
- non comportano difficoltà logistiche (trovare spazi a terra per impianti), problemi di gestione dei materiali trattati, etc..

In alternativa ai trattamenti in situ sono da privilegiare gli interventi che permettono il recupero/riutilizzo dei materiali estratti, senza o previo trattamento.

Le attività di dragaggio, funzionali alle successive fasi di trattamento e recupero o riutilizzo/smaltimento, dovranno essere realizzate con tecniche compatibili con la necessità di evitare effetti negativi sull'ambiente come, ad esempio, l'aumento della torpidità e la mobilitazione di sostanze contaminanti. Dette tecniche sono appunto denominate "tecniche di dragaggio ambientale", ed hanno, quali caratteristiche peculiari:

- elevata selettività e precisione delle attrezzature utilizzate, essenziale per permettere la realizzazione di un profilo di scavo accurato e la rimozione selettiva dei sedimenti in funzione dei livelli di concentrazione riscontrati;
- corretto proporzionamento delle attrezzature di aspirazione, che permette di minimizzare le perdite di materiale da asportare;
- possibilità di minimizzare la quantità d'acqua rimossa insieme al sedimento, prelevando quindi un materiale con densità il più possibile prossima alla densità del sedimento in situ;
- sicurezza per i lavoratori, grazie all'attuazione di sistemi chiusi che minimizzano il contatto dei lavoratori con i materiali dragati.

Le attività di rimozione dei sedimenti contaminati dovranno prevedere adeguate misure di mitigazione degli eventuali impatti ambientali e dovranno essere dimensionate sulla base delle caratteristiche ambientali locali, dei potenziali bersagli e della loro sensibilità, delle caratteristiche fisico chimiche dei sedimenti da rimuovere e della metodologia di escavo prescelta.

In ogni caso (sia per interventi in situ, sia per interventi di asportazione), al fine di poter determinare la necessità di eventuali modifiche alle tecnologie di bonifica in corso di attuazione, dovrà essere previsto ed attuato un piano di monitoraggio estensivo per il controllo di eventuali effetti nocivi sull'ambiente circostante.

Come si è detto la bonifica dei sedimenti pone in generale difficoltà aggiuntive rispetto alla bonifica dei suoli, alle quali si fa fronte, nel caso di interventi ex situ, attraverso la realizzazione di trattamenti preliminari a quelli di bonifica consistenti essenzialmente in:

- lavaggio preliminare, che permette l'allontanamento delle sostanze che possono inibire o rallentare i successivi processi di bonifica;
- disidratazione (passiva, meccanica o chimica);
- separazione granulometrica, che permette di diminuire i volumi da trattare e di rendere più omogeneo il materiale da inviare a successivi trattamenti.

Preliminarmente alla attuazione di tecniche di bonifica particolarmente invasive (escavi o altre tecniche che prevedano movimentazione meccanica dei sedimenti e/o perforazioni), in aree dove ciò sia ritenuto opportuno, dovranno essere effettuate ricognizioni, al fine di identificare la presenza di eventuali ordigni bellici sepolti e provvedere alla loro rimozione.

8 RIPRISTINI AMBIENTALI

Tali interventi si rendono necessari al fine di ricostruire, su aree ove si siano svolte attività impattanti sull'assetto morfologico del territorio (tipicamente discariche o attività estrattive), uno stato finale dei luoghi che salvaguardi l'ambiente naturale e tuteli le possibilità di riutilizzo del suolo.

Per le attività di recupero e ripristino ambientale con D.P.G.R. n.574 del 22.07.02, pubblicato sul BURC Serie Speciale del 19.08.02, è stato emanato il Regolamento per l'attuazione degli interventi di ingegneria naturalistica, precedentemente approvato con Delibera di G.R. n. 3417 del 12.07.02.

Gli interventi di sistemazione morfologica devono prendere in considerazione diversi aspetti quali:

- caratteristiche idrogeologiche del territorio, al fine di evitare o attenuare fenomeni di erosione, frane o ruscellamenti, o immissione di sostanze inquinanti in corpi idrici superficiali o profondi;
- caratteristiche paesaggistiche, ambientali e naturalistiche dell'area ;
- destinazione d'uso dell'area sulla base degli strumenti urbanistici .

L'art. 199 del D.Lgs.152/06 dispone che i Piani Regionali di Bonifica dei siti inquinati debbano prevedere le modalità degli interventi di bonifica e risanamento ambientale, che privilegino prioritariamente l'impiego di materiali provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani. Inoltre, la Legge n. 1 del 24 gennaio 2011 prevede che il compost fuori specifica, individuato con il codice 19.05.03 nel catalogo europeo dei rifiuti, possa essere impiegato, previa autorizzazione regionale, quale materiale di ricomposizione ambientale per la copertura e la risagomatura di cave abbandonate e dismesse, di discariche chiuse ed esaurite, ovvero quale materiale di copertura giornaliera per gli impianti di discarica in esercizio.

In effetti è possibile, nell'ambito di interventi di risanamento ambientale, ricorrere all'utilizzo di materiali provenienti da attività di recupero a condizione che i materiali stessi ed i procedimenti per il loro utilizzo non costituiscano un pericolo per la salute umana e non arrechino danni all'ambiente.

In particolare essi non devono:

- a. creare rischi per l'acqua, l'aria, il suolo e per la fauna e la flora;
- b. causare inconvenienti da rumori e odori;
- c. danneggiare il paesaggio ed i siti di particolare interesse.

L'utilizzo dei rifiuti nelle attività di recupero ambientale è sottoposto alle procedure semplificate previste dall'art. 214 del decreto legislativo 152/06, a condizione che venga rispettato quanto previsto dal D.M. del 05/02/98, come modificato dal D.M. n. 186/06:

- i rifiuti non siano pericolosi
- sia previsto e disciplinato da apposito progetto approvato dall'Autorità competente;
- sia effettuato nel rispetto delle norme tecniche e delle condizioni specifiche previste dal D.M. del 05/02/98 come modificato dal D.M. n. 186/06 per la singola tipologia di rifiuto impiegato, nonché nel rispetto del progetto di cui sopra;
- sia compatibile con le caratteristiche chimico-fisiche, idrogeologiche e geomorfologiche dell'area da recuperare;
- il contenuto di contaminanti sia conforme a quanto previsto dalla legislazione vigente in materia di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati in funzione della specifica destinazione d'uso del sito.

La possibilità di utilizzo della Frazione Organica Stabilizzata (FOS) proveniente dagli impianti di trattamento meccanico-biologico dei rifiuti urbani, in miscela con materiali inerti, in attività di ripristino ambientale è allo stato ancora a livello sperimentale in quanto devono essere ancora approfonditi i possibili effetti ambientali. Sono ancora relativamente carenti infatti dati sperimentali relativi alla dinamica dei nutrienti con particolare riferimento all' eventuale trasporto di composti azotati e fosfatici e di metalli pesanti verso le acque di falda o superficiali.

Il Documento di lavoro n. 2 sulla gestione dei rifiuti organici biodegradabili della Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea copre anche il tema del trattamento meccanico biologico, che viene definito come il trattamento di rifiuto urbano residuo, di rifiuti urbani misti, o di ogni altro rifiuto organico non utilizzabile per produzione di compost o digestato. Il risultato del trattamento è il rifiuto biologico stabilizzato.

Qualora il rifiuto biologico stabilizzato risponda a determinati requisiti si prevede che gli Stati Membri ne potranno consentire l'impiego come componente di suoli ricostruiti, per l'applicazione a terreni non destinati alla produzione di

colture alimentari o foraggiere (ad esempio per attività paesistiche e di recupero ambientale quali la copertura finale di discariche, il ripristino di miniere dismesse e cave, la costruzione di barriere antirumore, la sistemazione di scarpate stradali, etc).

Il Documento prevede comunque limiti nelle quantità e nei tempi di impiego e la necessità, considerato che si tratta di rifiuti (e non, come nel caso di compost e digestato, di prodotti), che la utilizzazione debba avvenire sotto il controllo delle competenti autorità e prevedendo, almeno, quanto richiesto per l'utilizzo dei fanghi di depurazione dalla Direttiva 86/278/CEE (artt.5 e 10):

- analisi preliminare dei terreni e rispetto dei valori limite nei suoli;
- tenuta di registri.

9 MATRICE DI SCREENING PER LA SELEZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA

Nelle tabelle seguenti, si riportano la matrici di screening elaborate dal Settore Siti Contaminati – Servizio Interdipartimentale per le Emergenze Ambientale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (www.apat.gov.it/site/files/Matrice_tecnologie_ISPRA_rev050908.pdf), di supporto alla selezione delle più adeguate metodologie di bonifica in sede di valutazione progettuale. Per la realizzazione della matrice è stato utilizzato il modello della matrice di screening delle tecnologie sviluppato dalla Federal Remediation Technologies Roundtable (http://www.frtr.gov/matrix2/section3/table3_2.pdf) al quale sono stati aggiunti alcuni contaminanti significativi ai sensi della normativa italiana vigente in tema di siti contaminati.

MATRICE DI SCREENING TRATTAMENTI EX SITU PER MATRICE SUOLO E SEDIMENTI																			
	Arsenico	Cadmio	Cromo	Piombo	Mercurio	Zinco	Altri metalli e inorganici	Idrocarburi Aromatici	Idrocarburi Policiclici Aromatici	Idroc. Alifatici Clorurati canc.	Idroc. Alifatici Clorurati non canc.	Idroc. Alifatici Alogenati canc.	Nitrobenzeni	Clorobenzeni	Fenoli non clorurati	Fenoli Clorurati	Ammine Aromatiche	Fitofarmaci	Diossine e Furani
TRATTAMENTI BIOLOGICI EX SITU (previa escavazione)																			
BIOPLE	N	N	N	N	N	N	S	A	A	A	A	A	N	A	A	A	L	L	L
COMPOSTAGGIO	N	N	N	N	N	N	N	A	A	L	L	L	A	A	A	L	L	N	N
LANDFARMING	N	N	N	N	N	N	N	A	A	L	L	L	S	L	A	L	A	L	L
BIOREATTORI	N	N	N	N	N	N	S	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N	N
TRATTAMENTI FISICO/CHIMICI EX SITU (previa escavazione)																			
ESTRAZIONE CHIMICA	A	A	A	A	A	A	A	L	L	L	L	L	N	A	L	A	A	A	N
OSSIDAZIONE/RIDUZIONE CHIMICA	N	N	A	N	N	N	N	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
SOIL WASHING	A	A	A	A	A	A	A	L	L	L	L	L	N	L	L	L	L	L	L
SOLIDIFICAZIONE/STABILIZZAZIONE	A	A	A	A	A	A	A	N	N	N	N	N	N	L	N	L	L	L	A
TRATTAMENTI TERMICI EX SITU (previa escavazione)																			
INCENERIMENTO/PIROLISI	N	N	N	N	N	N	N	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
DESORBIMENTO TERMICO	N	N	N	N	A	N	N	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ALTRO																			
CAPPING (CONTENIMENTO)	A	A	A	A	A	A	A	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A
ESCAVAZIONE E SMALTIMENTO OFF SITE	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Legenda

N efficienza non dimostrata

L efficienza limitata

A efficienza dimostrata

S Efficienza in funzione dello specifico contaminante, delle condizioni sito specifiche e della progettazione

MATRICE DI SCREENING TRATTAMENTI IN SITU PER MATRICE ACQUA

	Arsenico	Cadmio	Cromo	Piombo	Mercurio	Zinco	Altri metalli e inorganici	Idrocarburi Aromatici	Idrocarburi Policiclici Aromatici	Idroc. Alifatici Clorurati canc.	Idroc. Alifatici Clorurati non canc.	Idroc. Alifatici Alogenati canc.	Nitrobenzeni	Clorobenzeni	Fenoli non clorurati	Fenoli Clorurati	Ammine Aromatiche	Fitofarmaci	Diossine e Furani
TRATTAMENTI BIOLOGICI IN SITU																			
BIOREMEDIATION	N	N	N	N	N	N	S	A	A	A	A	A	L	L	A	L	A	L	L
ATTENUAZIONE NATURALE MONITORATA	N	N	N	N	N	N	N	A	A	L	L	L	N	L	A	L	L	L	L
PHYTOREMEDIATION	A	A	L	L	A	A	L	L	L	L	L	L	N	L	L	L	L	L	L
TRATTAMENTI FISICO/CHIMICI IN SITU																			
AIR SPARGING	N	N	N	N	N	N	N	A	A	L	L	L	N	L	A	L	L	L	L
OSSIDAZIONE CHIMICA	N	N	L	N	N	N	S	N	N	L	L	L	L	L	N	L	N	L	L
OSSIDAZIONE ELETTROCHIMICA	N	N	L	N	N	N	S	N	N	A	A	L	N	L	N	L	L	L	L
IN-WELL AIR STRIPPING	N	N	N	N	N	N	N	L	L	L	L	L	N	N	L	N	L	N	N
DUAL/MULTI PHASE EXTRACTION	N	N	N	N	N	N	N	A	A	A	A	A	N	A	A	A	A	A	A
BARRIERE PERMEABILI REATTIVE	N	N	A	A	N	A	S	L	L	A	A	A	A	A	L	A	A	A	A

Legenda

N efficienza non dimostrata

L efficienza limitata

A efficienza dimostrata

S Efficienza in funzione dello specifico contaminante, delle condizioni sito specifiche e della progettazione

MATRICE DI SCREENING TRATTAMENTI EX SITU PER MATRICE ACQUA

	Arsenico	Cadmio	Cromo	Piombo	Mercurio	Zinco	Altri metalli e inorganici	Idrocarburi Aromatici	Idrocarburi Policiclici Aromatici	Idroc. Alifatici Clorurati canc.	Idroc. Alifatici Clorurati non canc.	Idroc. Alifatici Alogenati canc.	Nitrobenzeni	Clorobenzeni	Fenoli non clorurati	Fenoli Clorurati	Ammine Aromatiche	Fitofarmaci	Diossine e Furani
TRATTAMENTI BIOLOGICI EX SITU																			
BIOREATTORI	N	N	N	N	N	N	N	A	A	A	A	A	A	L	A	L	A	N	N
LAGUNAGGI	A	A	L	A	L	A	A	L	L	L	L	L	A	L	L	L	L	N	N
TRATTAMENTI FISICO/CHIMICI EX SITU (con estrazione delle acque e conferimento in idoneo impianto)																			
PROCESSI DI OSSIDAZIONE AVANZATA	N	N	N	N	N	N	S	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
AIR STRIPPING	N	N	A	N	N	N	N	N	N	A	A	A	N	N	N	N	N	N	N
CARBONI ATTIVI	L	L	L	L	L	L	S	A	A	A	A	A	S	A	A	A	A	A	A
PUMP AND TREAT	A	A	A	A	A	A	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A
SCAMBIO IONICO	A	A	A	A	A	A	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Legenda

N efficienza non dimostrata

L efficienza limitata

A efficienza dimostrata

S Efficienza in funzione dello specifico contaminante, delle condizioni sito specifiche e della progettazione

10 MODALITA DI SMALTIMENTO DEI MATERIALI DA ASPORTARE

Per quanto attiene lo smaltimento dei materiali prodotti durante le attività di bonifica e di messa in sicurezza, bisogna tener presente che tali materiali rientrano nella classe dei Rifiuti Speciali, per i quali non sussiste l'obbligo di gestione all'interno del territorio regionale. Ciò nonostante, nel perseguire i criteri di massima "sostenibilità ambientale" degli interventi di bonifica e, conseguentemente, del PRB stesso, sarebbe auspicabile l'applicazione, ove possibile, dei principi comunitari di "autosufficienza" e "prossimità". Nell'ambito di tali principi, tendenti a favorire lo smaltimento in luoghi prossimi alla produzione, i rifiuti derivanti dalle attività di bonifica dovrebbero essere avviati a recupero/smaltimento prioritariamente nell'ambito regionale. Le relative scelte che i soggetti responsabili e/o attuatori possono adottare dipendono quindi da una serie di fattori, quali in primis la disponibilità regionale di impianti, per la quale può essere preso come riferimento il Piano Regionale dei Rifiuti Speciali della Regione Campania.