

## CRITERI GENERALI PER LA MESSA IN SICUREZZA, LA BONIFICA ED IL RIPRISTINO AMBIENTALE DEI SITI INQUINATI

### **Interventi di messa in sicurezza**

Gli interventi di messa in sicurezza sono interventi che non eliminano o riducono necessariamente lo stato di contaminazione di un sito inquinato, ma sono mirati a rendere accettabile, mediante l'isolamento del sito medesimo o la riduzione della mobilità degli inquinanti, attraverso l'adozione di tecniche di ingegneria ambientale, il movimento e la diffusione dei contaminanti dal sito all'ambiente esterno, al fine di consentire l'utilizzo del sito secondo le destinazioni indicate dagli strumenti urbanistici, previa valutazione del rischio residuo a seguito dell'adozione degli interventi previsti in sede progettuale.

Gli interventi di messa in sicurezza possono essere suddivisi in tre categorie principali:

- Messa in sicurezza per problemi di emergenza;
- Messa in sicurezza provvisoria;
- Messa in sicurezza finalizzata.

#### *Messa in sicurezza per problemi di emergenza*

La messa in sicurezza per problemi di emergenza viene realizzata quando, sia per eventi accidentali che per situazioni di inquinamento palese, si riscontri un immediato rischio di diffusione dell'inquinamento e di impatto sulla salute umana o su altre componenti ambientali esistenti nell'intorno del sito interessato dal fenomeno.

Tale tipologia di intervento deve essere attuata in tempi rapidi, attraverso sistemi di asportazione di materiali pericolosi e/o contenimento dinamico o statico, a seconda delle presumibili vie di migrazione degli inquinanti ed in relazione alla probabilità di determinare rischi aggiuntivi di incidenti.

Gli interventi di messa in sicurezza di emergenza devono in ogni caso essere integrati con sistemi di monitoraggio e controllo che consentano di seguire costantemente l'andamento del fenomeno e l'efficacia delle misure assunte in termini di abbattimento o annullamento della migrazione di inquinanti verso zone esterne al sito di interesse.

#### *Messa in sicurezza provvisoria*

La messa in sicurezza provvisoria viene eseguita quando, pur non sussistendo immediati rischi per la salute umana o altre componenti ambientali, si debbano prevenire diffusioni o migrazioni di contaminanti da siti inquinati durante interventi di bonifica che richiedano periodi di applicazione significativi (più di 12 mesi) o quando si ritenga necessario eseguire un monitoraggio prolungato per valutare lo stato qualitativo del sito di interesse e le sue interferenze con l'ambiente circostante.

Generalmente per tale tipologia di interventi si adottano sistemi di contenimento dinamico (barriere idrauliche di pozzi, trincee drenanti).

#### *Messa in sicurezza finalizzata*

Si adotta in caso di impossibilità tecnico/economica di applicazione di interventi di bonifica e viene realizzata mediante sistemi di contenimento statico (confinamento) o di inertizzazione-stabilizzazione, integrati da interventi di ingegneria ambientale idonei a garantire la possibilità di utilizzo dell'area secondo le destinazioni urbanistiche della stessa. E' sempre accompagnata da sistemi di monitoraggio e controllo per la verifica dell'efficienza e dell'efficacia dell'intervento nonché da limitazioni temporanee o permanenti all'utilizzo dell'area rispetto alla destinazione d'uso prevista qualora bonificata.

## **Interventi di bonifica**

Vengono attuati su siti inquinati da prodotti, sostanze e materiali di diverse origini e caratteristiche, a valle della messa in opera di sistemi di messa in sicurezza di emergenza o provvisori, o come intervento primario. La loro definizione realizzazione dipendono da attività preliminari di caratterizzazione quali-quantitativa del sito inquinato e del suo intorno potenzialmente influenzabile; in tale fase devono essere quindi effettuate tutte quelle indagini necessarie a definire:

- ❑ I caratteri generali, naturali e/o antropici del sito (morfologia, pedologia, idrografia ed idrologia, clima e meteorologia, geologia ed idrogeologia, uso del suolo, vincoli urbanistici ed ambientali, ecc.);
- ❑ La fonte dell'inquinamento e la tipologia, le caratteristiche e la pericolosità e quantità di inquinanti emessi nell'ambiente;
- ❑ La distribuzione verticale ed areale dell'inquinamento;
- ❑ Gli eventuali bersagli della contaminazione.

La caratterizzazione del sito, la definizione delle fonti e dei veicoli dell'inquinamento, dei possibili bersagli e dell'estensione areale del problema ed i dati di test o prove sperimentali, permettono di definire quindi nel dettaglio quelli che sono gli interventi necessari alla bonifica del sito. La tipologia di intervento dipende quindi da diverse variabili:

- ❑ Estensione dell'inquinamento
- ❑ Riconversione del sito (futuro uso del suolo)
- ❑ Limiti da raggiungere per la bonifica
- ❑ Analisi costi/benefici dell'intervento

che devono essere ben definite e valutate per la determinazione della migliore tecnologia applicabile al sito inquinato; al paragrafo "Criteri per la definizione e scelta della tipologia di intervento" tali concetti sono dettagliatamente descritti.

Obiettivo fondamentale di qualsiasi intervento di bonifica è abbattere la presenza di sostanze inquinanti al di sotto dei limiti tabellari definiti in funzione della destinazione d'uso del sito.

### *Tipologie degli interventi di bonifica*

Ogni intervento, pur utilizzando tecnologie sperimentate, mantiene una sua "unicità" conseguente alle condizioni fisiche dell'area, ed alle modalità di contaminazione diverse caso per caso; tale aspetto determina la necessità di adottare, per ciascun sito, un sistema di bonifica in grado di assicurare il raggiungimento degli obiettivi previsti con il minor impatto e la maggiore efficacia.

Un sistema di classificazione generalmente adottato per individuare la tipologia di intervento è quello del punto di applicazione dello stesso, per cui si hanno interventi:

- ❑ In situ (senza movimentazione o rimozione di materiali dal sito)
- ❑ On-site (con movimentazione e rimozione di materiali, ma nell'ambito del sito stesso)
- ❑ Off-site (con movimentazione e rimozione di materiali fuori dal sito stesso)

## **Criteria per la definizione e scelta della tipologia di intervento**

### *Valutazione delle alternative di intervento (fattibilità)*

Lo studio di fattibilità di intervento di messa in sicurezza o di bonifica deve essere realizzato immediatamente al termine della fase di caratterizzazione di un sito oggetto di valutazione, una volta acquisiti e validati i dati relativi ed aver stabilito la necessità dello stesso.

Con tali principi di base, si evidenzia l'importanza dello studio di caratterizzazione del sito, che dovrà essere compreso nello studio di fattibilità e prevedere i seguenti contenuti tecnici:

- ❑ Tipologia del sito inquinato e sua identificazione amministrativa e cartografica
- ❑ Descrizione delle infrastrutture presenti sul sito, aeree-superficiali e sotterranee, e nel suo intorno e loro analisi funzionale
- ❑ Uso del sito presente e futuro
- ❑ Origine e natura della contaminazione, con analisi degli inquinanti presenti e valutazione delle loro caratteristiche di mobilità, persistenza nell'ambiente e tossicità
- ❑ Atti amministrativi e giudiziari riguardanti il sito
- ❑ Caratterizzazione geologico-stratigrafica, geotecnica, chimica, fisica e biologica dei terreni presenti
- ❑ Caratterizzazione idrogeologica, chimica, fisica e biologica dei corpi idrici superficiali e sotterranei presenti
- ❑ Identificazione e caratterizzazione delle vie di migrazione degli inquinanti
- ❑ Identificazione e caratterizzazione dei bersagli potenziali dell'inquinamento, sia umani che vegetali che faunistici
- ❑ Identificazione e caratterizzazione delle potenziali interfacce di esposizione (contatto) tra inquinanti e bersagli individuati
- ❑ Descrizione di tutte le indagini eseguite sul sito, dirette ed indirette, completa di tutti i risultati ottenuti, sia come dati di campo che come attività di laboratorio

Con tali conoscenze di base si procede quindi alla valutazione della fattibilità dell'intervento, che costituisce il momento di individuazione delle possibili alternative di messa in sicurezza o di bonifica, la loro comparazione tecnico-economica e la scelta della soluzione più idonea per il sito di interesse. Nello studio di fattibilità devono quindi essere anche considerate:

- ❑ Le diverse tipologie di intervento percorribili (se più di una)
- ❑ Il confronto delle loro prestazioni tecniche in termini di capacità di contenimento o trattamento degli inquinanti di interesse, applicabilità e compatibilità ambientale, tempi di applicazione
- ❑ I vantaggi e gli svantaggi delle diverse alternative

### *Analisi costi-benefici delle diverse alternative*

Per ciascuna alternativa deve essere definito l'impegno economico sia in termini di applicazione del sistema che di gestione dello stesso secondo la tempistica prevista. Tale valutazione, in questa fase, è di tipo economico (+/- 20%), in relazione al dettaglio tecnico relativamente blando proprio di tale momento di valutazione. Al termine della valutazione economica di ciascun intervento individuato, viene eseguito un confronto costi-benefici complessivo e viene stilato un ordine gerarchico degli interventi in funzione di tale confronto.

### *Scelta della soluzione ottimale di intervento*

Viene eseguita successivamente alla valutazione di fattibilità delle diverse alternative, mediante l'analisi comparata di

- ❑ Livello di decontaminazione raggiungibile
- ❑ Compatibilità ambientale
- ❑ Tempi di applicazione

#### □ Rapporto costi-benefici

Per ciascuno di tali indicatori viene stilata una graduatoria delle alternative (se più di una) percorribili e, al termine, viene redatta la graduatoria complessiva che tiene conto di tutti i parametri considerati; naturalmente caso per caso dovranno essere preventivamente definiti i pesi da attribuire a ciascuno dei suddetti parametri, in relazione alla diversa tipologia di inquinamento, dell'uso attuale e previsto del sito e del flusso finanziario disponibile. La soluzione che al termine del confronto riporti il miglior punteggio può essere considerata come ottimale per il sito e quindi passare alle successive fasi di progettazione, propedeutiche alla realizzazione.

#### *Criteria per la verifica della compatibilità ambientale*

E' un principio fondamentale per l'applicazione di un intervento di bonifica in un sito inquinato e consiste nella valutazione della possibilità dello stesso senza che si verifichino emissioni di sostanze pericolose per la salute degli operatori presenti sul sito e per l'ambiente circostante, sia durante la fase di esecuzione dell'intervento (breve periodo) che successivamente ad esso (medio-lungo periodo). Per tale motivo dovranno essere privilegiati interventi di bonifica già validati da Enti ed Organismi nazionali ed internazionali. Nel caso in cui non sia possibile utilizzare sistemi già consolidati, ma si debba ricorrere a tecnologie sperimentali o non ancora validate, dovranno essere adottati criteri di accettazione ed applicazione specifici, così definibili:

- Il sistema proposto, se di tipo innovativo o non sufficientemente validato, deve essere obbligatoriamente preceduto da una fase di sperimentazione attuata mediante sperimentazioni di laboratorio e realizzazione di impianto pilota mediante i quali valutare, oltre naturalmente alle prestazioni del sistema, la sua compatibilità ambientale in termini di emissioni e rischi potenziali connessi al sistema
- In ogni caso la compatibilità del sistema deve essere verificata mediante un adeguato sistema di monitoraggio e controllo e, al termine della fase di sperimentazione, deve essere prodotta una certificazione di compatibilità da parte di Enti o Organismi tecnico-scientifici competenti

#### *Criteria di accettazione dei risultati*

L'efficacia di un intervento di bonifica può essere verificata mediante i seguenti criteri:

- Esecuzione del collaudo in corso d'opera e finale
- Monitoraggio e controllo

Il collaudo dell'intervento dovrà valutare la rispondenza tra il progetto di intervento e la sua realizzazione in termini di sistemi, tecnologie, strumenti e mezzi utilizzati per la bonifica, sia durante la sua esecuzione (collaudo in corso d'opera), che al termine delle attività di bonifica e monitoraggio post-opera.

Il monitoraggio ed i controlli da eseguirsi per la verifica di risultati dell'intervento dovranno riguardare i diversi comparti interessati dal fenomeno di inquinamento occorso, con particolare attenzione per l'ambiente idrico (superficiale e sotterraneo) e l'aria. Le procedure di controllo dovranno essere preventivamente incluse nella progettazione dell'intervento e dovranno indicare i valori di riferimento (limiti della bonifica per il caso specifico), le modalità ed i tempi di esecuzione dei controlli, gli standard analitici da utilizzare, le modalità di rappresentazione dei risultati. Come elemento di giudizio finale dovrà essere prodotta una certificazione di avvenuta bonifica mediante confronto tra i risultati ottenuti dal monitoraggio e controllo, in termini di concentrazione degli inquinanti indicatori utilizzati, e gli obiettivi della bonifica.

## **Monitoraggio e controllo degli interventi di messa in sicurezza e di bonifica**

In caso di adozione di interventi di messa in sicurezza devono essere sempre previsti, ad integrazione di essi, sistemi e programmi di monitoraggio e controllo finalizzati a valutare il raggiungimento dell'obiettivo previsto, che è il contenimento dell'inquinamento all'interno del sito compromesso. Tali sistemi sono inoltre indispensabili nel corso della realizzazione dell'intervento di messa in sicurezza, per la salvaguardia e protezione degli operatori presenti sul sito. I sistemi di monitoraggio e controllo devono essere in particolar modo indirizzati a valutare lo stato di qualità dell'ambiente idrico ed atmosferico, in relazione alla possibilità di contatto tra tali componenti ambientali e potenziali bersagli che possono essere individuati negli operatori presenti sul sito e in altre componenti ambientali, umane, faunistiche e vegetali circostanti il sito di interesse.

Tutti i sistemi di monitoraggio e controllo devono pertanto riguardare sia le fasi di attività sul sito o per la realizzazione degli interventi, che le fasi post-opera, per un adeguato periodo di tempo da stabilire in base alle caratteristiche del sito, dei potenziali bersagli presenti e della tipologia di intervento realizzata.

Gli interventi di monitoraggio e controllo devono essere eseguiti secondo procedure e modalità prestabilite, devono essere riferite a standard esistenti e debbono essere completi di un piano di un piano di assicurazione della qualità dei risultati, in quanto con tale tipologia di intervento si valuta lo stato qualitativo di un sito o la sua certificazione di avvenuta bonifica. In caso di mutamento delle condizioni al contorno, gli interventi di monitoraggio dovranno essere opportunamente modificati.

In tale tipo di intervento si possono comprendere tutte le attività con le quali, dopo aver caratterizzato un sito in via preliminare e/o dettagliatamente, si controlla per un periodo prefissato l'andamento nel tempo di parametri indice opportunamente scelti in grado di:

- ❑ “visualizzare” l'evoluzione di un fenomeno di degrado sia in assenza di interventi che durante l'applicazione di essi
- ❑ costituire un sistema di allarme per la prevenzione di danni ambientali

Tali criteri relativi alla definizione di un intervento di monitoraggio devono essere integrati dai seguenti criteri di dettaglio:

- ❑ l'area oggetto del monitoraggio deve comprendere il sito inquinato ed una porzione di territorio ad essa limitrofa che deve essere definita arealmente in funzione della mobilità degli inquinanti nei comparti ambientali interessati, delle caratteristiche idrogeologiche e meteorologiche del territorio e dei bersagli potenzialmente influenzati dall'evento
- ❑ lo sviluppo temporale delle attività di monitoraggio e controllo, sia come periodicità dei controlli che come periodo complessivo di osservazione deve essere rapportato ai tempi di applicazione degli interventi di messa in sicurezza o di bonifica a cui il sistema è riferito ed al tempo congruo di osservazione, che può essere definito sia sulla base di casi di studio che su risultati di simulazioni modellistiche eseguite.

Nella fase di progettazione di un intervento di monitoraggio e controllo, sviluppata in funzione delle conoscenze acquisite e degli obiettivi di risanamento o di prevenzione previsti, si deve quindi definire:

- ❑ tipo e numero dei punti di misura
- ❑ parametri chimico-fisici, biologici e inquinanti indicatori da controllare
- ❑ tipo e caratteristiche di strumentazioni eventualmente da installare
- ❑ modalità e procedure di controllo della strumentazione installata
- ❑ modalità, tempi e procedure dei controlli manuali da eseguire
- ❑ modalità di campionamento e di manipolazione, stoccaggio e trasporto delle diverse componenti ambientali (aria, acque e terreni)
- ❑ tipologia, modalità e strumenti necessari per le determinazioni analitiche di campo e di laboratorio

- ❑ livelli di allarme e modalità per la loro segnalazione
- ❑ tipo di elaborazioni da eseguire sui dati raccolti
- ❑ procedure per la sicurezza e la salvaguardia della salute dei lavoratori

Poiché un sistema di monitoraggio è strettamente dipendente dalle risultanze della caratterizzazione di ogni singolo sito, degli obiettivi di messa in sicurezza e/o di bonifica, non è possibile quantificare genericamente il sistema, che dovrà pertanto essere di volta in volta definito nel numero e nella tipologia dei punti di controllo e nelle modalità di gestione.

Come criterio generale si può comunque ritenere che i punti di controllo finalizzati a valutare l'evoluzione dello stato di qualità del sito debbano permettere la verifica della situazione in ingresso ed in uscita dallo stesso, per cui devono essere previsti, oltre ai punti di controllo nell'ambito del sito, anche punti ubicati a monte ed a valle dello stesso, lungo le direzioni di spostamento dell'aria e delle acque sotterranee o superficiali influenzate dal sito stesso; ogni piano di monitoraggio e controllo deve essere comprensivo di un manuale della qualità che definisca le tecniche e le procedure per la validazione dei dati rilevati e dei risultati emessi.

## **VERIFICA DELL'ACCETTABILITÀ DELLE CONCENTRAZIONI RESIDUALI NEI CASI DI CUI ALL'ART. 17, COMMA 6, D. LGS. 5 FEBBRAIO 1997 N. 22, COME MODIFICATO DAL D. LGS. 8 NOVEMBRE 1997, N. 389**

Nei casi previsti all'art. 17, comma 6, D. Lgs. 5 febbraio 1997 n. 22, come modificato dal D. Lgs. 8 novembre 1997, n. 389, laddove sia prevista una specifica utilizzazione del sito deve essere condotta un'analisi del rischio, secondo metodiche sperimentate ed accettate a livello internazionale, al fine di valutare l'accettabilità o meno del rischio residuale a seguito degli interventi di messa in sicurezza, realizzati mediante tecniche di ingegneria ambientale, finalizzati alla salvaguardia della salute umana e dell'ambiente, in relazione alle specifiche destinazioni d'uso. Nel caso in cui tale valutazione dia esito positivo il sito si può considerare messo in sicurezza e come tale soggetto a controlli e verifiche e limitazioni d'uso appositamente definite. In caso contrario si dovranno individuare, per quelle sostanze che presentino valori di concentrazione non accettabili, ulteriori sistemi di abbattimento, fino a raggiungere valori non più potenzialmente pericolosi.

Diversi sono i metodi ed i criteri in uso per l'Analisi del Rischio ma ciascuno prevede essenzialmente le seguenti fasi, da sviluppare in sequenza:

- ❑ Valutazione dei contaminanti (tipologia, caratteri ed estensione)
- ❑ Valutazione delle vie di spostamento degli stessi nei diversi comparti ambientali (suolo, sottosuolo ed atmosfera)
- ❑ Identificazione dei bersagli potenziali dell'inquinamento e dei livelli di esposizione possibili
- ❑ Calcolo del rischio (potenziale, massimale ed accettabile)

Nell'ambito di una Analisi del Rischio devono essere noti tutti i fattori e le variabili che caratterizzano ciascuna componente che interviene nel calcolo stesso, poiché attraverso questo vengono individuate le necessità, le modalità ed i livelli di intervento.

Per i singoli punti di valutazione è importante procedere secondo alcuni riferimenti fondamentali, che sono indipendenti dal tipo di criterio/approccio che si segue per la valutazione del rischio e che sono imprescindibili in quanto componenti di base per la valutazione stessa; ci si riferisce in particolare all'utilizzo di:

- ❑ Inquinanti Indice: tra tutti gli inquinanti rinvenuti/rinvenibili in un sito si scelgono quelli che per concentrazione, proprietà chimico-fisiche, mobilità nei comparti ambientali, persistenza e tossicità, presentano il maggior rischio per l'ambiente e l'uomo
- ❑ Percorsi di contaminazione: aria, acque superficiali e sotterranee, interfacce di esposizione umana (lo scenario *suolo*⇒*acqua sotterranea*⇒*ingestione di acqua potabile* è il più pericoloso per inquinanti mobili, quello *suolo*⇒*contatto diretto* per i contaminanti adsorbiti nel terreno, quello *suolo*⇒*atmosfera*⇒*inalazione* per gli inquinanti volatili)
- ❑ Modalità di esposizione: Ingestione (acqua, suolo, catena alimentare), Inalazione (aria, suolo, acque), Contatto dermico (suolo e acque)
- ❑ Calcolo delle concentrazioni alle interfacce di esposizione: mediante stime di trasformazione degli inquinanti o modelli di trasporto degli inquinanti dalla sorgente ai bersagli

Alla luce di quanto suesposto, e facendo riferimento alla bibliografia disponibile ed alle esperienze svolte, si può senza dubbio ritenere valida la seguente procedura di valutazione del rischio:

- ❑ Caratterizzazione di dettaglio degli inquinanti, dal punto di vista chimico e chimico-fisico
- ❑ Definizione dei fattori influenti sul movimento dell'inquinante (dati litologici, granulometrici, idrogeologici e idrologici)
- ❑ Identificazione dei possibili percorsi dell'inquinante

- ❑ Identificazione dei bersagli diretti (possono coincidere con i percorsi), ed indiretti dell'inquinante
- ❑ Valutazione delle trasformazioni dell'inquinante, in qualità e quantità, lungo le vie di spostamento
- ❑ Valutazione delle concentrazioni di inquinante in arrivo ai potenziali bersagli
- ❑ Calcolo del rischio
- ❑ Definizione dei sistemi di bonifica e dell'obiettivo da raggiungere

## **Linee di sviluppo per l'Analisi del Rischio**

### *Ricostruzione dello/gli scenario/i di rischio*

Considerazione preliminare all'esecuzione di qualsiasi calcolo o elaborazione è, per il sito in oggetto, la ricostruzione del modello concettuale dello stesso, individuando i possibili scenari diretti (cioè direttamente dipendenti dalla presenza e dallo spostamento nel sito di sostanze inquinanti), ed indiretti (cioè cause esterne che possono innescare spostamenti o interferenze di inquinanti presenti nel sito che altrimenti non avrebbero impatto sui comparti ambientali considerati).

Tali scenari o modelli concettuali devono comprendere quindi oltre all'individuazione della fonte di contaminazione, tutti i possibili elementi e cause influenti su di essa e sui composti presenti che possono determinare situazioni di rischio, da valutare poi qualitativamente e quantitativamente con i successivi passi della metodologia.

Nelle more dell'emanazione delle disposizioni applicative previste in materia dal D. Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22, i modelli concettuali e la metodologia devono essere proposti e certificati, caso per caso, dai professionisti responsabili incaricati della progettazione delle attività di bonifica o di messa in sicurezza, previo esame congiunto con gli Enti di autorizzazione e controllo.

### *Caratteristiche del sito*

Una adeguata caratterizzazione dell'area oggetto del fenomeno di inquinamento e dei suoi dintorni è un pre-requisito fondamentale per poter eseguire una valida Analisi del Rischio; in particolare, si definiranno con il dettaglio necessario le caratteristiche relative a:

- ❑ Storia produttiva del sito e localizzazione spaziale degli impianti nel tempo (se applicato a siti industriali-produttivi-commerciali)
- ❑ Topografia e morfologia del sito
- ❑ Litologia e rapporti verticali e laterali tra i diversi litotipi incontrati
- ❑ Idrogeologia (comprendendo in questa anche le caratteristiche idrodinamiche)
- ❑ Pedologia ed uso del suolo
- ❑ Caratteristiche meteorologiche influenti per la propagazione dell'inquinamento

I dati generali necessari per una corretta valutazione del rischio sono:

- ❑ contenuto d'acqua dei diversi livelli litologici incontrati
- ❑ porosità efficace
- ❑ densità secca
- ❑ spessore della copertura di suolo
- ❑ spessore dello strato non saturo
- ❑ frazione di carbonio organico presente
- ❑ capacità di scambio cationico
- ❑ pH del suolo
- ❑ composizione chimica delle acque di falda
- ❑ distribuzione granulometrica dei litotipi incoerenti
- ❑ permeabilità relativa e pressione capillare per i litotipi in zona satura
- ❑ infiltrazione efficace

- ❑ conducibilità idraulica orizzontale e verticale
- ❑ gradiente idraulico
- ❑ dispersività longitudinale e trasversale (in senso orizzontale e verticale)
- ❑ spessore dell'acquifero
- ❑ velocità e frequenza dei venti

Alcuni di questi dati sono direttamente misurabili nel sito, per altri sono necessarie elaborazioni e calcoli derivati da misure o dati bibliografici da acquisire (es. dati di pioggia annuale, temperatura, evapotraspirazione, ecc.).

#### *Estensione della contaminazione*

Nell'esecuzione dell'Analisi del Rischio si terrà conto:

- ❑ dell'estensione verticale ed orizzontale della contaminazione
- ❑ delle concentrazioni di "fondo" esistenti in zona
- ❑ delle possibili vie di migrazione dell'inquinante (suolo, acque sotterranee e superficiali, aria, sedimenti e catena alimentare)

#### *Caratteristiche dell'inquinante*

La caratterizzazione chimica dell'inquinante sarà condotta su:

- ❑ tipo, volume, composizione, natura, caratteristiche chimiche e fisiche
- ❑ caratteri di trasporto e destino ambientale, includendo in questi la mobilità, la stabilità, la volatilità, la capacità e le opportunità di bioaccumulo e la persistenza nell'ambiente

Per tale caratterizzazione si farà riferimento, oltre che all'esecuzione di analisi mirate, a banche dati esistenti, relative alle caratteristiche tossicologiche e di propagazione ambientale; sulla base dei risultati di tali ricerche verranno determinate le specie indice dell'inquinamento su cui condurre l'Analisi del Rischio.

Dati essenziali relativi alle specie indice di inquinanti individuate sono:

- ❑ concentrazione nei terreni e nelle acque
- ❑ coefficiente di diffusione in aria ed acqua
- ❑ costante di Henry
- ❑ K<sub>oc</sub> (costante di adsorbimento)
- ❑ Solubilità
- ❑ Costante di decadimento
- ❑ Peso molecolare
- ❑ Pressione di vapore
- ❑ Densità e viscosità della fase liquida per quei contaminanti che si presentano in tale stato a condizioni ambiente

#### *Identificazione valutazione dei recettori ambientali*

Si identificheranno e descriveranno i recettori ambientali presenti nel sito e nel suo intorno, che potrebbero risultare esposti alla contaminazione, quali:

- ❑ Ambiente vegetale (piante e coltivazioni)
- ❑ Ambiente animale
- ❑ Ambiente fisico (acque superficiali, zone protette ed habitat particolari)

#### *Identificazione e valutazione dei recettori umani*

Per tale attività si intende la valutazione non di singoli individui, ma di gruppi di individui eventualmente a rischio, distinguendoli ad esempio in:

- ❑ Residenti e/o frequentatori, nell'ambito dell'area logica di influenza del sito

- ❑ Lavoratori presenti sul sito
- ❑ Bambini

Dopo aver individuato tutti i possibili recettori, si deve eseguire una disamina degli stessi in relazione ai possibili scenari di rischio valutati in fase di sviluppo del modello concettuale del sito e, conseguentemente, si scartano quelli che in nessun modo potranno essere esposti a situazioni di rischio. Per ciascun recettore vengono definiti i parametri caratteristici (peso corporeo, superficie esposta, ecc.), ottenibili da banche dati esistenti.

#### *Identificazione delle attività ed uso del sito e del suo intorno*

Si deve in particolare valutare l'utilizzo attuale e futuro di:

- ❑ Acque superficiali e sotterranee del sito e del suo intorno
- ❑ Uso del suolo
- ❑ Frequenza e durata di esposizione per bersagli correlati alle attività di uso del sito

Come esempi di attività ed uso del sito e del suo intorno, si possono indicare:

- ❑ Uso di acque ad uso potabile ed irriguo
- ❑ Attività ricreative quali pesca e fruizione dell'area per il tempo libero
- ❑ Attività commerciali e/o residenziali in genere

#### *Identificazione delle interfacce e delle vie di esposizione*

Verranno identificate le interfacce in cui i contaminanti possono entrare in contatto con i bersagli potenziali, le modalità mediante le quali si può verificare il contatto e la durata dell'esposizione, includendo in queste:

- ❑ Ingestione di suolo, prodotti inquinati e acque
- ❑ Inalazione di aria contaminata
- ❑ Assorbimento dermico da acqua o suolo

Vengono in tale fase stabiliti, facendo riferimento a standard prefissati, la frequenza (gg/anno) dell'esposizione all'inquinamento per ciascun recettore individuato ed i parametri specifici per il caso/sito in oggetto (frazioni corporee esposte, fattori di aderenza ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) e tempi di esposizione (ore/giorno), ecc.).

#### *Valutazione delle concentrazioni alle interfacce di esposizione*

Per le specie indice di inquinanti prescelte e ad ogni interfaccia di esposizione identificata verrà definita la concentrazione di esposizione all'inquinante.

L'obiettivo di tale attività è l'identificazione della concentrazione aritmetica media che fornisca una stima, conservativa, della concentrazione di esposizione in un recettore, per una interfaccia di esposizione e secondo il periodo di esposizione calcolato. Tale identificazione potrà essere eventualmente di tipo probabilistico, usando la distribuzione delle concentrazioni nelle interfacce di esposizione, invece della media aritmetica, in funzione dei dati disponibili.

Le concentrazioni alle interfacce di esposizione saranno valutate mediante appositi modelli di trasporto e destino degli inquinanti, validati e già ampiamente utilizzati per tali elaborazioni; i modelli adoperati dovranno essere chiaramente documentati.

In tale fase, ma anche nelle precedenti ed in quella conclusiva di valutazione, è importante tenere sempre conto, in fase di decisione (momento di scelta tra due soluzioni, il principio del "caso peggiore" che assicura, come stima o valore conservativo, una scelta cautelativa sempre a favore dell'ambiente e della salute umana.

### *Valutazione del Rischio*

La valutazione delle concentrazioni di inquinanti alle interfacce di esposizione permetterà di identificare la tossicità, e quindi la pericolosità, delle stesse nei riguardi dei recettori identificati; da ciò si valuterà l'accettabilità di tali valori ai fini della salvaguardia della qualità ambientale e della salute umana, secondo liste di controllo predefinite.

Gli effetti potenziali vengono suddivisi in cancerogeni e non cancerogeni; i primi sono quantificati mediante la stima della probabilità (o rischio) di contrarre il cancro, mentre i secondi (cronici, sub-cronici od acuti), sono quantificati attraverso la stima dell'Indice di Pericolo (Hazard Index).

I rischi cancerogeni vengono definiti come la probabilità "incrementale" di un individuo di sviluppare il cancro durante la vita a causa dell'esposizione ad un potenziale agente cancerogeno; il rischio calcolato è basato sul concetto EPA di "massima esposizione ragionevole", conservativo e protettivo per la salute.

Dalla bibliografia esistente si evince che attualmente l'incidenza del cancro, a livello generale, è circa pari al 25% della popolazione e, di tale percentuale, almeno il 2% può essere direttamente associato all'esposizione ad agenti inquinanti ed il rischio di contrarre il cancro durante la vita media, per esposizione ambientale a sostanze chimiche, è da 1 a 5E-3.

In contrasto con tale valore, come assunzione conservativa, l'EPA fissa un intervallo di valori di rischio, variabile tra 1E-4 e 1E-6, corrispondente a 1-3 ordini di grandezza più bassi; nella direttiva EPA si stabilisce che un rischio cumulativo cancerogeno inferiore a 1E-4 può evitare interventi di ripristino.

Al fine di fornire un confronto valido con i valori di rischio calcolati per casi reali di applicazione dell'Analisi del Rischio, vengono quindi stabilite tre fasce di giudizio relative al rischio cancerogeno, pari a:

1. Rischio inferiore a 1E-6 (1/1.000.000): viene considerato nullo o insignificante e non viene intrapresa nessuna azione di ripristino
2. Rischio compreso tra 1E-6 e 1E-4: (da 1/1.000.000 a 1/10.000): necessità azione di ripristino da valutare caso per caso
3. Rischio superiore a 1E-4 (1/10.000): azione di bonifica sicuramente necessaria, per riportare il valore entro il livello di accettabilità

I potenziali effetti non cancerogeni vengono valutati attraverso il calcolo dell'Indice di Rischio Cronico; per ciascun composto di interesse e via di immissione, tale Indice viene espresso come rapporto tra l'immissione e la dose di riferimento.

La dose di riferimento costituisce il valore limite di immissione conservativamente indicato e deve risultare superiore alla dose effettivamente immessa (infatti l'Indice di Rischio deve risultare < 1), in modo da non avere possibilità di effetti avversi per la salute umana. E' significativo considerare che la dose di riferimento è un valore limite e non quantifica direttamente il rapporto tra dose immessa ed effetto sulla salute umana.

Quando si considera più di un composto e più di un mezzo di immissione, l'Indice di Rischio è espresso come sommatoria dei rapporti tra immissione e dose di riferimento; anche in questo caso, se la risultante è <1, gli effetti sulla salute umana possono considerarsi nulli.

Per quanto riguarda le formule matematiche da utilizzare per l'applicazione della procedura descritta ed il metodo di calcolo, si ritiene opportuno utilizzare lo standard attuale, l'ASTM-RBCA E1739. L'uso di tale standard, originariamente sviluppato per siti inquinati da prodotti petroliferi, non si limita solo ad essi. In particolare si dovranno applicare, come strumento di verifica dell'accettabilità di eventuali concentrazioni residuali, la procedura e le formule del livello 2 (Tier 2) dello standard ASTM-RBCA.

## CRITERI GENERALI PER LA REDAZIONE DEI PROGETTI DI BONIFICA

1. Il progetto di bonifica da presentare entro 30 gg. dalla notifica dell'accertato stato di inquinamento del sito deve essere inteso come un programma di intervento sul sito inquinato che contenga:
  - ❑ Il piano di dettaglio delle indagini relative all'accertamento definitivo dello stato qualitativo del sito da effettuarsi secondo i criteri generali precedentemente indicati
  - ❑ La necessità e, conseguentemente, la tipologia e gli schemi di realizzazione di eventuali sistemi di messa in sicurezza provvisoria
  - ❑ L'indicazione dei sistemi di monitoraggio e controllo da porre in essere durante l'esecuzione degli interventi di messa in sicurezza provvisoria e di bonifica
  - ❑ L'individuazione delle possibili tipologie degli interventi di bonifica

Gli interventi di bonifica dovranno essere successivamente dettagliati secondo quanto riportato ai seguenti punti 2 e 3.

### 2. Progettazione preliminare (o progetto di base)

Tale progettazione viene eseguita come attività finalizzata all'ottenimento delle autorizzazioni necessarie per l'espletamento degli interventi previsti, da parte dei soggetti responsabili dell'approvazione dell'intervento e dovrà prevedere i seguenti contenuti:

- ❑ La relazione tecnica illustrativa dell'intervento contenente i principi e le tecniche di applicazione del sistema
- ❑ Le performance attese ed i tempi stimati di applicazione
- ❑ Lo schema generale e i diagrammi di flusso di applicazione e gestione del sistema
- ❑ I protocolli di attività
- ❑ La tipologia dei mezzi, delle apparecchiature e delle attrezzature utilizzate
- ❑ I criteri e le procedure di verifica e controllo qualità da adottare in corso d'opera e per l'accettazione dei risultati dell'intervento
- ❑ La tipologia e le procedure di applicazione del sistema di monitoraggio
- ❑ Gli interventi accessori previsti
- ❑ Le modalità di ripristino conclusivo del sito
- ❑ Gli elaborati grafici di base costituiti da planimetrie, sezioni e piante a scala adeguata all'estensione areale del sito

Tale progettazione deve essere prodotta alle Amministrazioni competenti all'approvazione entro 60 gg. Dall'approvazione del progetto di cui al precedente punto 1.

### 3. Progettazione di dettaglio (o progetto esecutivo)

La progettazione esecutiva dell'intervento, realizzata a valle della stesura del progetto di base e dell'ottenimento delle autorizzazioni previste per l'esecuzione degli interventi, e che deve tenere conto delle eventuali prescrizioni emanate dagli Enti pubblici competenti, deve essere elaborata sviluppando con maggiore dettaglio il progetto di base ed è finalizzata alla cantierizzazione dell'intervento; in particolare dovrà comprendere, in aggiunta alla relazione tecnico-illustrativa di dettaglio:

- ❑ Disegni esecutivi e particolari costruttivi, relativi sia alla disposizione di campo del sistema di bonifica, che delle apparecchiature da installare e delle opere (civili e non) da eseguire, comprendendo in questi anche le caratteristiche prestazionali
- ❑ I computi metrici

- Il capitolato speciale di appalto
- Il piano di sicurezza del cantiere ai sensi della legislazione vigente

Tale progettazione deve essere prodotta alle Amministrazioni competenti entro 30 gg. dall'approvazione del progetto di cui al precedente punto 2.

*C:\Suolo\Bonifiche\Protocollo Marghera\Criteri\_bonifica.doc*