

## **Allegato 3**

**Analisi di fattibilità degli interventi di messa in sicurezza e bonifica, noti i profili degli inquinanti rilevati e delle relative misure di contenimento**

## **Analisi di fattibilità degli interventi di messa in sicurezza e bonifica, noti i profili degli inquinanti rilevati e delle relative misure di contenimento**

Le attività oggetto della presente Convenzione saranno svolte in due differenti FASI, la prima della durata di 12 mesi e la seconda della durata di 18 mesi. Di seguito, si riportano in dettaglio le attività che saranno svolte in entrambe le FASI progettuali.

### **Review delle tecnologie di bonifica previa analisi critica dei dati ed informazioni disponibili sulla contaminazione dell'acquifero e della caratterizzazione idrogeologica disponibile del sito.**

Attività di review/valutazione delle tecnologie di bonifica più appropriate per il sito indagato che consideri elementi riferibili ad aspetti chimici, fisici, pedologici, idrogeologici, biologici ed economici.

Tale attività sarà svolta all'inizio della I FASE al fine di individuare le tecnologie di bonifica più idonee per la riqualificazione ambientale della falda contaminata oggetto di studio, e sarà svolta al termine della II FASE, allo scopo di integrare le informazioni ottenute con la sperimentazione di tecnologie di biorisanamento, condotta in entrambe le FASI progettuali.

### **Attività sperimentale finalizzata alla valutazione di tecniche di biorisanamento di acque contaminate**

#### **Campionamento di acqua di falda dai pozzi contaminati.**

Il campionamento per l'analisi di fattibilità di tecniche di biorisanamento di acque contaminate verrà eseguito in concomitanza con le attività di campionamento svolte nell'ambito del Programma di monitoraggio, per la valutazione della presenza di superamenti della CSC nei pozzi in cui è stata già riscontrata contaminazione durante le attività svolte con il "*Protocollo d'intesa per la realizzazione di un monitoraggio ambientale nel territorio della città di Barletta*". Il campionamento sarà, inoltre condotto sui piezometri di nuova realizzazione in concomitanza con le attività di campionamento svolte dal soggetto attuatore del Programma di monitoraggio. Non sono incluse, in tale attività di campionamento, tutte le operazioni relative allo spurgo dei piezometri e alla strumentazione dei piezometri.

In particolare, nella I FASE sarà eseguito un campionamento da quattro dei piezometri esistenti e di cui 1 contaminato da Cromo VI e tre contaminati differientemente da Cloroformio, 1,2, Dicloropropano, 1,1, Dicloroetilene, 4 Tricloroetilene e Tetracloroetilene. Nella II FASE sarà eseguito un campionamento dai restanti piezometri esistenti e risultati contaminati nella precedente azione progettuale.

#### **Allestimento di microcosmi di laboratorio per valutare la fattibilità di interventi di biorisanamento finalizzati al ripristino ambientale della falda di Barletta dalla contaminazione inorganica ed organica.**

In entrambe le FASI progettuali saranno allestiti microcosmi di laboratorio per valutare la fattibilità di interventi di biorisanamento finalizzati al ripristino ambientale della falda di Barletta dalla contaminazione inorganica (da Cromo VI) ed organica (Cloroformio, 1,2, Dicloropropano, 1,1, Dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene). Tali studi di microcosmo si basano sull'utilizzo

di microrganismi già naturalmente presenti o precedentemente selezionati in laboratorio in grado di degradare e/o trasformare in composti meno tossici i contaminanti presenti. A tal fine l'avvio della sperimentazione consiste nell'allestimento di una serie di microcosmi di laboratorio, utilizzando materiale proveniente dal sito contaminato (acqua di falda), per valutare l'efficacia di degradazione degli inquinanti in condizioni controllate. In questi sistemi, che operano in condizioni statiche, verranno simulate le condizioni esistenti nel sito e quelle potenzialmente realizzabili attraverso l'aggiunta di opportune sostanze ammendanti. In tal modo, potranno essere ottimizzati i parametri (es. la velocità del processo e l'eventuale formazione di sottoprodotti) che favoriscono la completa degradazione/trasformazione dei contaminanti.

Tra le misure di bonifica di siti contaminati, le tecnologie di biorisanamento *in situ* sfruttano la capacità dei microrganismi, naturalmente presenti nella falda, di degradare i contaminanti organici, utilizzandoli come fonte di energia o co-metabolizzandoli in presenza di opportuni substrati primari. I trattamenti consistono essenzialmente nello stimolare l'attività microbica (*biostimulation*) creando condizioni ambientali favorevoli per la crescita dei microrganismi, mediante l'aggiunta di nutrienti, ammendanti e, nel caso dei processi aerobici, ossigeno. In quest'ultimo caso, i sottoprodotti della degradazione sono tipicamente acqua e anidride carbonica mentre, nel caso di contaminanti di natura ossidata, come gli idrocarburi alifatici clorurati, si rende necessario un processo riduttivo, anaerobio, che porti alla loro conversione in composti di natura innocua, quali etilene, etano, metano etc.. Nel caso in cui non siano presenti microrganismi adatti a degradare i composti di interesse, si può procedere all'introduzione di opportune specie o comunità microbiche esogene (*bioaugmentation*).

Rispetto alle tradizionali tecnologie chimico-fisiche, il biorisanamento *in situ* presenta costi contenuti, bassi consumi energetici, una globale riduzione dei rischi d'inquinamento indiretto delle acque sotterranee, ed ha il vantaggio di restituire, al termine del trattamento, una matrice biologicamente attiva. Esso rappresenta una soluzione efficace soprattutto per la rimozione di idrocarburi clorurati e non clorurati, come testimoniato dalle numerose esperienze documentate in ambito internazionale.

L'efficacia di un processo di biorisanamento è, tuttavia, dipendente dalle specifiche condizioni ambientali. In generale, non è possibile prevedere, sulla base dei soli dati analitici relativi alla composizione di una falda, se siano presenti le condizioni favorevoli al procedere della degradazione biologica di un dato contaminante. È necessario, quindi, effettuare indagini sito-specifiche in grado di determinare la reattività biologica del sito. Si individuano, in tal modo, le condizioni ottimali che portino alla rimozione del contaminante in un tempo adeguato alle esigenze di recupero del sito e con costi contenuti.

L'attività di ricerca proposta è basata sull'allestimento di reattori biologici in scala laboratorio (microcosmi), che consentano di valutare l'efficacia di degradazione degli inquinanti in condizioni controllate. Nella prima fase, verranno allestite alcune serie di microcosmi utilizzando materiale proveniente dal sito contaminato (acqua di falda). In questi reattori, che operano in condizioni statiche, verranno simulate le condizioni esistenti nel sito e quelle potenzialmente realizzabili attraverso l'aggiunta di opportune sostanze ammendanti. In tal modo, potranno essere ottimizzati i parametri che favoriscono la completa degradazione dei contaminanti, e saranno valutate la velocità del processo e l'eventuale formazione di sottoprodotti. Successivamente, l'efficacia del trattamento potrà essere verificata mediante un sistema a ricircolo (reattore biologico o colonna), che permetta di valutare la degradabilità dei contaminanti in condizioni dinamiche. I risultati attesi della sperimentazione sono le informazioni necessarie per una corretta progettazione delle varie fasi dell'intervento di bonifica (scelta della configurazione del sistema; dimensionamento delle componenti impiantistiche; realizzazione di pozzi di iniezione, estrazione e monitoraggio) e per stimare i costi del trattamento in piena scala.

### **Utilizzo di tecniche chimico-analitiche per la valutazione della degradazione/trasformazione dei contaminanti per l'analisi dei campioni di acqua prelevati a diversi tempi di trattamento.**

In entrambe le FASI progettuali saranno effettuate indagini chimico-analitiche sui campioni di acqua prelevati a diversi tempi del trattamento sperimentale, finalizzate alla valutazione dei processi di: (i) degradazione degli inquinanti organici e relativa identificazione dei possibili metaboliti prodotti, (ii) trasformazione dei contaminanti inorganici (cromo VI).

### **Analisi microbiologiche sui campioni di acque sotterranee prelevate a diversi tempi di trattamento per valutare variazioni nella abbondanza e vitalità delle comunità microbiche coinvolte nei processi di biorisanamento.**

In entrambe le FASI progettuali saranno effettuate indagini microbiologiche sui campioni di acqua prelevati a diversi tempi del trattamento sperimentale ( $t=0$  campioni prelevati in concomitanza con le operazioni condotte dal soggetto attuatore del Programma di monitoraggio),  $t=intermedio$  della durata del trattamento,  $t=finale$  al termine del trattamento di sperimentazione in microcosmi) al fine di investigare possibili variazioni nel funzionamento delle comunità microbiche autoctone durante il trattamento investigato mediante l'allestimento di microcosmi.

### **Utilizzo di tecniche biomolecolari per la valutazione della struttura e composizione delle comunità microbiche nei trattamenti di biorisanamento realizzati con i microcosmi al fine di identificarne e valorizzarne il ruolo nei processi di degradazione/trasformazione degli inquinanti.**

In entrambe le FASI progettuali saranno condotte indagini biomolecolari su campioni di acqua prelevate a differenti tempi di trattamento, in concomitanza con i prelievi condotti per le succitate indagini chimiche e microbiologiche al fine di identificare e quantificare in dettaglio le specie microbiche presenti sia nei campioni di falda che nei microcosmi allestiti in laboratorio.

In particolare, le attività di indagine biomolecolare saranno sviluppate al fine di:

- identificare e caratterizzare le specie batteriche presenti in falda e studiarne le dinamiche microbiche. Tale attività mirerà alla classificazione e quantificazione delle specie batteriche presenti nei campioni di acqua prelevati dai piezometri oggetto di indagine che saranno utilizzati per l'allestimento dei microcosmi in laboratorio ( $t=0$ ). I dati ottenuti durante tale fase saranno confrontati con quelli rilevati nella precedente azione investigativa svolta nell'ambito del *Protocollo d'intesa per la realizzazione di un monitoraggio ambientale nel territorio della città di Barletta*, al fine di studiare le specie microbiche presenti in falda, fornendo al contempo utili indicazioni sulle possibili modifiche nella composizione e struttura delle comunità microbiche della falda investigata.
- identificare e caratterizzare le specie batteriche durante la sperimentazione in microcosmi. Tale attività verterà alla classificazione e quantificazione delle specie batteriche che si svilupperanno nei microcosmi messi a punto in laboratorio al fine di valutare la composizione e struttura delle comunità microbiche durante la sperimentazione e quindi comprendere i principali processi di biorecupero alla base dei trattamenti di biorisanamento saggiati.

### **Redazione del Report finale di validazione delle tecnologie di biorisanamento sperimentate.**

In entrambe le FASI progettuali sarà redatta uno specifico report per la validazione delle tecnologie di biorisanamento testate. Nello specifico, al termine della II FASE progettuale sarà redatta una

relazione, comprensiva di eventuali elaborati grafici, che descriverà le attività svolte, i risultati ottenuti e sarà utile ai fini di una successiva e corretta progettazione delle varie fasi dell'intervento di bonifica in piena scala e per stimarne i costi del trattamento.



**Allegato 1**  
**Consiglio Nazionale delle Ricerche**  
*Istituto di Ricerca Sulle Acque*

**Analisi di fattibilità degli interventi di messa in sicurezza e bonifica, noti i profili degli inquinanti rilevati e delle relative misure di contenimento.**

*Schema del programma di indagini e pianificazione finanziaria*

<b>I FASE (12 mesi)</b>				
<b>Attività</b>	<b>Importo unitario (in €)</b>	<b>Quantità</b>	<b>Importo totale (in €)</b>	<b>Obiettivi</b>
<b>Review delle tecnologie di bonifica previa analisi critica dei dati ed informazioni disponibili sulla contaminazione dell'acquifero</b>	2 mesi	a corpo	5.000,00	appropriate per il sito indagato che consideri elementi riferibili ad aspetti chimici, fisici, pedologici, idrogeologici, biologici ma anche economici.
<b>Attività sperimentale finalizzata alla valutazione di tecniche di biorisanamento di acque contaminate</b>	9 mesi	a corpo	1.500,00	Campionamento di acqua di falda da 4 dei 12 pozzi contaminati (1 da cromo VI e 3 differenti contaminati da: 1,2 dicloropropano, 1,1 dicloroetilene, tricloroetilene, tetracloroetilene).
		a corpo	27.000,00	Allestimento di microcosmi di laboratorio per valutare la fattibilità di interventi di biorisanamento finalizzati al ripristino ambientale della falda di Barletta dalla contaminazione inorganica ed organica.
		a corpo	7.000,00	Utilizzo di tecniche chimico-analitiche per la valutazione della degradazione/trasformazione dei contaminanti per l'analisi dei campioni di acqua prelevati a diversi tempi di trattamento.

		a corpo	7.000,00	Analisi microbiologiche sui campioni di acque sotterranee prelevate a diversi tempi di trattamento per valutare variazioni nella abbondanza e vitalità delle comunità microbiche coinvolte nei processi di biorisanamento.
		a corpo	20.000,00	Utilizzo di tecniche biomolecolari per la valutazione della struttura e composizione delle comunità microbiche nei trattamenti di biorisanamento realizzati con i microcosmi al fine di identificarne e valorizzarne il ruolo nei processi di degradazione/trasformazione degli inquinanti.
<b>Redazione del Report finale di validazione delle tecnologie di biorisanamento sperimentate.</b>	1 mese	a corpo	2.500,00	La relazione, comprensiva di eventuali elaborati grafici, descriverà le attività svolte e i risultati prodotti con l'applicazione delle tecnologie di biorisanamento a 4 pozzi contaminati.
<b>TOT (I FASE)</b>			<b>70.000,00</b>	

**II FASE (18 mesi)**

<b>Attività</b>	<b>Importo unitario (in €)</b>	<b>Quantità</b>	<b>Importo totale (in €)</b>	<b>Obiettivi</b>
<b>Review delle tecnologie di bonifica previa analisi critica dei dati ed informazioni disponibili sulla contaminazione dell'acquifero</b>	1 mese	a corpo	3.000,00	Attività di review/valutazione delle tecnologie di bonifica più appropriate per il sito indagato che consideri elementi riferibili ad aspetti chimici, fisici, pedologici, idrogeologici, biologici ma anche economici.
<b>Attività sperimentale finalizzata alla valutazione di tecniche di biorisanamento di acque contaminate</b>	15 mesi	a corpo	3.000,00	Campionamento di acqua di falda dai pozzi contaminati e dai pozzi di nuova realizzazione.
		a corpo	53.000,00	Allestimento di microcosmi di laboratorio per valutare la fattibilità di interventi di biorisanamento finalizzati al ripristino ambientale della falda di Barletta dalla contaminazione inorganica ed organica.
		a corpo	13.000,00	Utilizzo di tecniche chimico-analitiche per la valutazione della degradazione/trasformazione dei contaminanti per l'analisi dei campioni di acqua prelevati a diversi tempi di trattamento.

		a corpo	13.000,00	Analisi microbiologiche sui campioni di acque sotterranee prelevate a diversi tempi di trattamento per valutare variazioni nella abbondanza e vitalità delle comunità microbiche coinvolte nei processi di biorisanamento. Analisi microbiologiche su campioni di acqua prelevate dai piezometri di nuova realizzazione.
		a corpo	40.000,00	Utilizzo di tecniche biomolecolari per la valutazione della struttura e composizione delle comunità microbiche nei trattamenti di biorisanamento realizzati con i microcosmi al fine di identificarne e valorizzarne il ruolo nei processi di degradazione/trasformazione degli inquinanti. Utilizzo di tecniche molecolari per l'identificazione e caratterizzazione di specie batteriche nei campioni di acqua prelevati dai piezometri di nuova realizzazione.
<b>Redazione del Report finale di validazione delle tecnologie di biorisanamento sperimentate.</b>	2 mesi	a corpo	5.000,00	La relazione, comprensiva di eventuali elaborati grafici, descriverà le attività svolte e i risultati prodotti e sarà utile ai fini di una successiva e corretta progettazione delle varie fasi dell'intervento di bonifica in piena scala e per stimarne i costi del trattamento.
			<b>TOT (II FASE)</b>	<b>130.000,00</b>
			<b>TOT (I+II FASE)</b>	<b>200.000,00</b>