

ARPAE
Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia
dell'Emilia - Romagna

* * *

Atti amministrativi

Determinazione dirigenziale	n. DET-2020-157	del 19/02/2020
Oggetto	Direzione Tecnica. Approvazione della Circolare interna recante la Linea Guida 44/DT “Metodologia per l'individuazione delle migliori tecniche disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati” Rev. 0.	
Proposta	n. PDTD-2020-155	del 19/02/2020
Struttura adottante	Direzione Tecnica	
Dirigente adottante	Zinoni Franco	
Struttura proponente	Direzione Tecnica	
Dirigente proponente	Dott. Zinoni Franco	
Responsabile del procedimento	Ricci Susanna	

Questo giorno 19 (diciannove) febbraio 2020 presso la sede di Largo Caduti del Lavoro, 6 in Bologna, il Direttore Tecnico , Dott. Zinoni Franco, ai sensi del Regolamento Arpae per l'adozione degli atti di gestione delle risorse dell'Agenzia, approvato con D.D.G. n. 109 del 31/10/2019 e dell'art. 4, comma 2 del D.Lgs. 30 marzo 2001, n. 165 determina quanto segue.

Oggetto: Direzione Tecnica. Approvazione della Circolare interna recante la Linea Guida 44/DT “Metodologia per l'individuazione delle migliori tecniche disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati” Rev. 0.

VISTI:

- la L.R. n. 44 del 19 aprile 1995, si seguito denominata “legge istitutiva”, come modificata dalla Legge Regionale n. 18 del 30 luglio 1999;
- il Regolamento Generale di Arpae, approvato con Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 124 del 01 febbraio 2010;

VISTI INOLTRE:

- la Legge Regionale n. 13/2015 “Riforma del sistema di governo regionale e locale e disposizioni su Città metropolitana di Bologna, Province e Comuni e loro Unioni, in particolare l'art. 16 “Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia. Funzioni in materia di ambiente”;
- il Regolamento per il Decentramento Amministrativo di Arpae, da ultimo modificato con la Delibera del Direttore Generale n. 87 del 01 settembre 2017, ed in particolare il combinato disposto dell'art. 4 con l'Allegato B lett. E), che attribuisce al Direttore Tecnico la competenza ad emanare Direttive e Circolari finalizzate alla standardizzazione delle attività tecniche eseguite nelle varie strutture dell'Agenzia;

PREMESSO:

- che lo svolgimento dell'attività di istruttoria e di vigilanza sui siti contaminati deve avvenire in maniera omogenea su tutto il territorio regionale, tenendo conto delle migliori tecniche disponibili ed applicabili;
- che l'attività di istruttoria viene effettuata dagli operatori dei Servizi Territoriali competenti per territorio, e che i risultati di tali istruttorie devono essere valutati dagli operatori delle SAC corrispondenti;
- che si è ritenuto opportuno fornire indicazioni al personale incaricato, al fine di omogeneizzare le modalità di studio e di trattamento dei dati inviati dalle aziende proponenti;

CONSIDERATO:

- che il predetto documento affronta tematiche a prevalente interesse interno all'Agenzia, e che per quanto concerne tematiche a potenziale interesse intersoggettivo che possono riguardare anche Enti diversi da Arpae Emilia-Romagna, il documento in questione, mentre mantiene piena coerenza nei

confronti delle Strutture interne, rappresenta un'indicazione non vincolante per i soggetti istituzionali esterni ad Arpae;

RITENUTO PERTANTO:

- di approvare il documento, allegato sub. A) al presente provvedimento, fornendogli la forma giuridica della la Circolare interna indirizzata alle APA ed alle AAC di Arpae;

ATTESTATA:

- la regolarità amministrativa del presente atto;

DATO ATTO:

- che si è provveduto a nominare responsabile del procedimento, ai sensi della Legge n. 241/90, la Dott.ssa Ricci Susanna, Responsabile del Servizio Indirizzi Tecnici;

DETERMINA

1. di approvare, sulla base delle considerazioni formulate nella parte narrativa che qui si intendono integralmente richiamate, la Circolare interna, indirizzata alle APA ed alle AAC di Arpae, allegata sub. A) al presente provvedimento per farne parte integrante e sostanziale, recante la Linea Guida 44/DT “Metodologia per l'individuazione delle migliori tecniche disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati” – Rev. 0

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Franco Zinoni

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 1 di 36</p>

<p>Metodologia per l'individuazione delle migliori tecniche disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</p>
--

Indice

- 1.SCOPO
- 2.CAMPO DI APPLICAZIONE
- 3.RIFERIMENTI
- 4.RESPONSABILITA'
- 5.LINEA GUIDA
 - 5.1 Presupposti per l'applicazione del metodo: Conoscenza preliminare
 - 5.1.1 Modello concettuale del sito
 - 5.1.2 Vincoli sito specifici
 - 5.2 Tecnologie applicabili
 - 5.2.1 Efficacia delle tecnologie
 - 5.2.2 Fattibilità tecnica
 - 5.3 Scenari di intervento
 - 5.3.1 Confinamento temporale e spaziale
 - 5.3.2 Approccio integrato
 - 5.3.3 Formulazione scenari
 - 5.4 Selezione del miglior intervento
 - 5.4.1 Criteri di valutazione
 - 5.4.2 Livelli di analisi
- 6.ALLEGATI
 - ALLEGATO 1: Caratterizzazione ad alta risoluzione
 - ALLEGATO 2: Criteri e quantificazione degli indicatori
 - ALLEGATO 3: Livelli di valutazione delle MTD
 - ALLEGATO 4: Check list operativa
- 7.MODULI
- 8.TABELLA DELLE REVISIONI

Natura modifica		in vigore dal
Redazione	Verifica	Approvazione
Gruppo di Lavoro ¹	Direzione Tecnica	Direzione Tecnica

¹ Claudia Ferrari, responsabile bonifiche siti contaminati della Regione Emilia-Romagna; Roberto Riberti, Federica Forti, Paola Silingardi, Cristina Regazzi Servizio Territoriale APAM; Giacomo Zaccanti CTR Rifiuti e siti contaminati DT; Igor Villani AAC

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 2 di 36</p>

1. SCOPO

Uno degli obiettivi fissati negli indirizzi del Piano Regionale di Bonifica dei Siti Contaminati, approvato con DGR 2254/2015, è quello di supportare le decisioni in merito al programma di risanamento di un'area contaminata selezionando le migliori tecniche disponibili (MTD/BAT), individuate tra quelle che, a parità di protezione sanitaria, riducono la contaminazione bilanciando le esigenze connesse agli aspetti ambientali, sociali ed economici.

La Regione Emilia-Romagna ha rilevato in questi anni che gli interventi di bonifica utilizzano ancora prevalentemente tecnologie poco sostenibili, come lo "scavo e smaltimento" per i terreni e il "Pump & Treat" per le acque sotterranee, tecniche che spesso non risolvono il problema o lo trasferiscono in altra sede (discarica).

La sostenibilità è un concetto generale a cui vengono associate diverse definizioni. Un intervento di risanamento deve considerare gli aspetti economici e sociali di tutti i soggetti coinvolti, e tali interessi devono essere bilanciati con quelli ambientali, che sono prioritari quando si analizzano aspetti di rischio per la salute collettiva. Per ottenere una soluzione ottimale occorre avere una visione complessiva, in grado di valutare gli elementi coinvolti ma anche le interazioni possibili. Ciò che si ritiene sostenibile lo deve essere nel tempo, tenendo quindi in considerazione le generazioni future, per non riversare su di loro le soluzioni definitive che possono essere assunte oggi, limitando gli sprechi di suolo, recuperando al massimo con trattamenti e valutazioni specifiche le matrici ambientali compromesse, usando energia possibilmente rinnovabile, riducendo la produzione di gas serra, riducendo lo spostamento di inquinanti.

Tali principi sono alla base delle Green Remediation e dell'Impronta Ecologica, e sono richiamati nell'Allegato 3 del Dlgs 152/06, in cui si fissano i criteri generali per la selezione degli interventi di Bonifica, messa in sicurezza dei siti contaminati.

Da tali principi discendono i criteri di scelta che si intendono utilizzare e che sono l'oggetto principale di tale Linea Guida, e che permettono, nella valutazione che porta alla scelta della migliore soluzione, di tenere in giusta considerazione anche gli impatti indotti dall'esecuzione della bonifica stessa, e non solo i benefici a fine attività.

Correntemente, quando si valutano le tecnologie di bonifica, non si prendono in giusta considerazione, nel loro complesso e preventivamente, gli impatti indotti dall'esecuzione della bonifica stessa, ma si valutano solo i benefici a fine attività.

Va specificato che il settore bonifica siti contaminati è peculiare ed ha caratteristiche diverse dagli altri ambiti inerenti le autorizzazioni ambientali in senso lato. Infatti, la ratio con cui si seleziona una tecnologia che comporti il minor impatto possibile per un impianto di processo è profondamente differente dal criterio con cui si inquadra un intervento di risanamento per una matrice ambientale, arrivando a volte addirittura ad invertire la scala di valori nelle valutazioni. Purtroppo tutto il sistema normativo inerente le BAT, a partire dalle direttive comunitarie fino alla norma nazionale di recepimento, è pensato e strutturato sugli impianti produttivi, rimanendo molto lontano dalla specificità dei siti contaminati, la cui reiterazione nella parte applicativa è totalmente lasciata ai singoli responsabili dei procedimenti amministrativi e ad eventuali linee guida tecniche.

Il decisore ed i valutatori dovrebbero affrontare un percorso decisionale che, dall'inizio alla fine del procedimento amministrativo di autorizzazione, consideri gli aspetti economici e sociali di tutti i soggetti coinvolti, per bilanciarli con quelli ambientali.

Gli Obiettivi generali per la gestione ottimale del percorso dalla fase conoscitiva fino alla progettazione dell'intervento, sono:

- Ottenere con costi sostenibili, un modello concettuale del sito con un adeguato livello di definizione/dettaglio indirizzato da subito ad ottenere le azioni di risanamento tecnicamente fattibili; Identificare i potenziali impedimenti (vincoli) che possono diventare ostacolo all'applicazione delle azioni di bonifica individuate;

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 3 di 36</p>

- Incorporare le tecnologie innovative² e più "verdi"³ nel risanamento del sito;
- Migliorare la tempestività, l'utilità e l'obiettività delle decisioni a carico dei responsabili utilizzando criteri trasparenti e misurabili;
- Costruire consenso tra le parti interessate, gestendo una corretta comunicazione all'esterno;
- Ridurre i costi.

La presente metodologia si pone l'obiettivo di ridurre l'asimmetria informativa nella valutazione dei procedimenti di bonifica, per garantire l'applicazione di scenari d'intervento sostenibili da un punto di vista ambientale, sociale ed economico.

2. CAMPO DI APPLICAZIONE

La Linea Guida è uno strumento di indirizzo per tutti gli operatori coinvolti nei procedimenti connessi all'approvazione di tutti gli interventi di risanamento proposti per un sito contaminato. All'interno di ARPAE le strutture coinvolte nel processo gestionale di bonifica di un sito contaminato sono i Servizi Territoriali e Servizi Autorizzazioni e Concessioni.

La metodologia propone strumenti che devono essere condivisi e approvati nell'ambito della conferenza dei servizi, ai fini della scelta delle migliori tecniche disponibili, sia nella procedura ordinaria prevista dall'art. 242 del D.Lgs. 152/2006, sia in quelle semplificate ai sensi degli art. 249 e All. 4 Titolo V Parte IV Dlgs. 152/2006 e art. 242 bis Titolo V Parte IV Dlgs. 152/2006, includendo pertanto anche il DM 31/2015 e il DM 46/2019.

Questo documento, non imponendo alcun elemento obbligatorio per legge e non sostituendo alcun provvedimento regolatorio, si inserisce nell'ambito dei procedimenti definiti dalle norme cogenti, come supporto per la scelta delle soluzioni più sostenibili per l'individuazione delle migliori tecniche di bonifica disponibili. Il contenuto del presente documento, che non ha carattere normativo, può essere suscettibile di revisioni ed aggiornamenti sia per adeguarsi ad ulteriori evoluzioni della letteratura tecnico-scientifica di riferimento, sia per migliorarne l'applicazione stessa.

3. RIFERIMENTI

A livello europeo non vi sono direttive connesse al settore dei siti contaminati, ma i principi enunciati nella Direttiva 96/61/CE relativa al "Controllo e prevenzione integrata dell'inquinamento" (IPPC), aggiornati nella Direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali, sono adattabili al processo decisionale che porta alla scelta delle Migliori Tecniche Disponibili per i siti contaminati.

A livello nazionale nell'allegato 3 alla Parte IV – Titolo V – del Dlgs 152/2006 dedicato ai criteri per la selezione degli interventi di Bonifica, si richiamano i principi indicati nelle direttive comunitarie sopra richiamate, valutando che le Migliori Tecniche Disponibili per la Bonifica (MTD/BAT) vengano selezionate tra quelle che:

² Le tecnologie si possono così differenziare: Tecnologia emergente (soggetta a Bench e scala di laboratorio), Tecnologia innovativa (testata e applicata ma la conoscenza va ancora approfondita), Tecnologia consolidata (vasta documentazione disponibile e attendibile su efficacia e costi) – clu-in.org

³ EPA definisce Green Remediation, l'approccio per la ricerca delle azioni di risanamento che consideri tutti gli effetti ambientali e incorpori le opzioni per minimizzare l'impronta ecologica. Una tecnologia "verde" riduce il consumo di energia privilegiando l'utilizzo di energia rinnovabile. Minimizza inoltre la produzione di inquinanti atmosferici a scala locale e globale (Green House Gas), nonché il consumo di acqua e materie prime. L'approccio minimizza inoltre la produzione di rifiuti (promuovendo attività di riutilizzo e riciclo). Vengono infine ridotti gli impatti negativi per gli ecosistemi.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 4 di 36</p>

1. risultano più efficienti nel raggiungere gli obiettivi finali, valutando le concentrazioni residue, i tempi di esecuzione, l'impatto sull'ambiente circostante, comprendendo un'analisi dei costi delle diverse tecnologie”;
2. tendono a trattare e riutilizzare il suolo nel sito, con conseguente riduzione dei rischi derivanti dal trasporto e messa a discarica di terreno inquinato, permettono il risparmio idrico mediante il riutilizzo delle acque trattate, minimizzando così la produzione dei rifiuti;
3. evitano i rischi igienico-sanitari per la popolazione durante lo svolgimento degli interventi, limitando al massimo l'inquinamento dell'aria, delle acque sotterranee e superficiali, del suolo e sottosuolo, nonché ogni inconveniente derivante da rumori e odori;
4. (per la messa in sicurezza) 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.

A livello regionale, con la DGR N.2254/2015, la Regione Emilia-Romagna prevede all'interno del Piano Regionale di Bonifica dei Siti Contaminati, tra le strategie identificate, la definizione di criteri per la scelta delle migliori tecniche disponibili e applicabili, perseguendo il bilanciamento di vari interessi in presenza di numerose variabili, sia di ordine generale che sito specifiche.

4. RESPONSABILITA'

ATTIVITA'	RESPONSABILITA'
Indizione CdS*	AAC - (SAC comp.te)
Rilascio relazione tecnica	APA - (ST comp.te)
Approvazione progetto operativo di bonifica*	AAC - (SAC comp.te)

*esclusi i procedimenti ex D.M.471/99 rimasti in capo ai Comuni

5. LINEA GUIDA

La valutazione delle migliori tecniche disponibili è un processo iterativo che si applica, nell'ambito della procedura amministrativa di bonifica, quando emerge la necessità di un intervento di bonifica/messa in sicurezza.

Gli step del processo valutativo di cui sopra andranno sviluppate dal Proponente e condivisi con gli Enti partecipanti alla CdS.

L'iter di valutazione di sostenibilità può essere gestito in fase progettuale, in base alle casistiche specifiche, considerando che, alla luce degli enormi vantaggi derivanti dalla corretta scelta tecnologica, investire il tempo in una pre-valutazione risulta estremamente incidente rispetto alla durata complessiva dell'intera procedura di bonifica.

Al fine di massimizzare oggettività e trasparenza, il processo di valutazione delle MTD è stato standardizzato con le seguenti fasi:

- identificazione delle tecnologie applicabili;
- formulazione degli scenari di intervento;
- individuazione delle migliori tecnologie fra le alternative applicabili.


	LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA	LG44/DT
<i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i>		Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 5 di 36



Fig. 1: applicazione MTD/BAT

In regime di procedura ordinaria (art. 242 DLgs 152/06, si può identificare come fase più idonea per la presentazione della valutazione di sostenibilità, quella di approvazione dell'analisi di rischio, contestualmente alla quale può essere presentato il documento di valutazione BAT, anche in una versione preliminare da integrare e dettagliare alla successiva presentazione del progetto di bonifica. In regime di procedura semplificata (art. 249, 242bis DLgs 152/06, DM 31/15, DM 46/19) la fase documentale è integrata in unica soluzione, in sede di CdS di approvazione del progetto unico di bonifica.

5.1 Presupposti per l'applicazione del metodo: Conoscenza preliminare

La conoscenza preliminare include la definizione del Modello Concettuale del Sito (MCS) e l'analisi dei vincoli presenti, sito specifici e non negoziabili, che possono condizionare la scelta delle MTD.

5.1.1 Modello concettuale del sito

Il Modello Concettuale del Sito (come definito dall'allegato 2 al titolo V parte IV del D.Lgs. 152/06) è la "rappresentazione dell'interazione tra lo stato di contaminazione del sottosuolo, (...) e l'ambiente naturale e/o costruito". Costituisce pertanto la base per la conoscenza degli effetti attuali e futuri della contaminazione sui bersagli umani ed ambientali presenti, oltre ad essere indispensabile per l'applicazione eventuale dell'Analisi di Rischio che ha come obiettivo la verifica gli scenari di esposizione per i bersagli in esso definiti, e la possibilità di identificare degli obiettivi sito specifici diversi da quelli individuati dalle CSC indicate nelle tabelle 1 e 2 della norma.

Le tecnologie di caratterizzazione convenzionali, basate sull'analisi di campioni prelevati da sondaggi e piezometri, consentono di ottenere informazioni con elevato grado di accuratezza, ma con scarsa risoluzione spaziale. Nei nostri territori caratterizzati spesso da una struttura di pianura sedimentaria, occorre valutare l'eterogeneità sito-specifica secondo criteri geologici/stratigrafici. La disponibilità di tecnologie innovative di caratterizzazione, in grado di acquisire dati semi-quantitativi con tempi e costi ridotti, permette di adeguare la risoluzione spaziale dell'informazione al livello di eterogeneità sito-specifica, e consente di ottenere un MCS idoneo ad individuare strategie di intervento efficaci.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 6 di 36</p>

Il MCS, a supporto della fase di selezione delle tecnologie, deve essere caratterizzato con un livello di risoluzione adeguato ad interpretare la variabilità delle caratteristiche idrogeologiche e stratigrafiche dell'area di studio e deve contenere almeno le seguenti informazioni;

1. identificazione della massa di contaminante nelle varie fasi:

- fase separata;
- adsorbita;
- disciolta;
- gassosa;

Nelle aree sorgente, quantificare la massa di contaminante potenzialmente mobile (sulla base della percentuale di saturazione a livello di micropori), quello immobile (adsorbito), condiziona in modo decisivo l'efficienza e spesso anche l'efficacia degli interventi.

2. valutazione della distribuzione della massa di contaminante negli strati:

- a) permeabili (zona trasmissiva);
- b) a bassa permeabilità (zone "sink" di accumulo);

La conoscenza descritta ai punti precedenti consente quindi di individuare aree con caratteristiche omogenee, in termini di tipologia e ripartizione della massa contaminante nelle litologie a diversa permeabilità.

Di seguito si elencano operativamente i principali elementi utili per l'ottimizzazione del MCS a supporto della fase di selezione delle tecnologie.

Informazioni relative alle sorgenti e al rilascio

- descrizione sorgenti primarie, localizzazione e storia dei precedenti rilasci e dei rilasci continui di sostanze contaminanti;
- descrizione sorgenti secondarie e contaminazione (adsorbita e/o fase separata);

Informazioni del contesto territoriale

- Classificazione dei corsi d'acqua e delle falde
- Posizione dei pozzi di captazione dell'acqua potabile
- Area di protezione per le risorse acquifere
- Localizzazione dei potenziali punti di esposizione per i ricettori
- Planimetrie, sezioni trasversali, serie temporale dei dati di concentrazione

Informazioni geologiche e idrologiche

- Descrizione della geologia regionale
- Proprietà fisiche (es: porosità, densità apparente, ...)
- Stratigrafia e percorsi preferenziali per i contaminanti
- Profondità degli acquiferi
- Gradiente idraulico
- Proprietà idrauliche (conducibilità, porosità effettiva, ...)
- Cambiamenti stagionali delle proprietà idrauliche

Parametri relativi alla distribuzione, al trasporto e al destino dei contaminanti

- Proprietà alla sorgente che influenzano il trasporto: composizione, densità, viscosità...
- Fasi dei contaminanti in zona insatura e satura: gassosa, liquida, solida, fasi libere
- Stima della massa contaminante negli strati a bassa permeabilità e in strati trasmissivi;
- Coefficiente di partizione tra le matrici (suolo, aria, acqua)

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 7 di 36</p>

Parametri geochimici

- condizioni redox
- donatori di elettroni
- accettori di elettroni

Parametri attenuazione naturale

- caratterizzazione microbiologica

L'evoluzione delle sorgenti di contaminazione nel tempo, comporta una continua redistribuzione della massa di inquinante (anche per effetto della variazione di livello della falda e/o dei meccanismi di diffusione ed advezione). Le strategie di intervento, per una medesima tipologia di contaminazione, cambiano quindi in funzione del momento (*"aging"* della sorgente) in cui si interviene rendendo quindi strategico l'adeguamento del modello di distribuzione della contaminazione. Nell'allegato 1 viene descritto un approccio metodologico denominato High Resolution Site Characterization (HRSC), che individua un percorso di caratterizzazione ad alta risoluzione, come elemento per una efficace progettazione e valutazione dei costi degli interventi di bonifica.

5.1.2 Vincoli sito specifici

Nella fase di caratterizzazione e identificazione del MCS devono essere individuati i vincoli che insistono sul sito che possono essere suddivisi in differenti categorie:

- logistico
 - interferenza con altre attività, cantieri ecc.;
 - spazi ridotti per stoccaggio materiale in cantiere, assenza/inadeguatezza rete fognaria, impossibilità allaccio alla rete elettrica, criticità per accesso a causa viabilità stradale;
- fisico
 - strutture interrato che possono limitare fortemente l'impiego di determinate tecnologie (es. barriere fisiche che limitano l'operatività, cavidotti e linee fognarie che potrebbero essere danneggiate o che diventano vie preferenziali nel caso di trattamenti in-situ);
- non negoziabili, imposti da fattori esterni e non dipendenti dalla volontà del responsabile della bonifica
 - prescrizioni legate alla pianificazione territoriale (es. tempo per consegna area, limitazioni legate a fasce di rispetto, obiettivi di bonifica più restrittivi);
 - presenza di ricettori sensibili che impongono particolari modalità di intervento;
 - prescrizioni emanate da enti di controllo.

5.2 Tecnologie applicabili

A partire dagli esiti della caratterizzazione vengono individuate, per le aree omogenee in zone sorgente e plume, le tecnologie efficaci (il cui livello di valutazione può essere effettuato in modo qualitativo o tramite analisi multicriteriale, Allegato 3) e tecnicamente fattibili per le tipologie di contaminazione rilevate.

5.2.1 Efficacia delle tecnologie

La prima fase nella selezione delle tecnologie di intervento applicabili al contesto specifico, consiste nella individuazione dei meccanismi d'azione efficaci per il trattamento delle aree omogenee, valutando l'orizzonte tecnologico disponibile. Tali meccanismi possono essere raggruppati nelle seguenti tipologie:

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 8 di 36</p>

1. contenimento inquinante;
2. recupero di inquinante;
3. degradazione dell'inquinante;

Le tipologie d'azione che hanno come obiettivo il confinamento e/o il recupero dell'inquinante, vengono adottate principalmente quando la concentrazione del contaminante supera la saturazione residua, mentre la tipologia d'azione che agisce sul cambiamento di fase, modifica le caratteristiche dell'inquinante disciolto/adsorbito.

La maggior parte delle tecnologie implementa più di un meccanismo d'azione. Queste "azioni multiple" di una tecnologia possono essere semplicemente rappresentate con un diagramma ternario. Il punto all'interno del diagramma mostra come una tecnologia si adatta alle tipologie sopra descritte.

Es. tecnologie

- Multi Phase Extraction (MPE) ha le seguenti azioni: confinamento idraulico, estrazione inquinante, stimolazione bio-ossidazione;
- Surfactant-Enhanced subsurface remediation (SERS)
 - ha come azione principali il desorbimento e l'estrazione dell' inquinante. Il P&T associato svolge anche azione di confinamento



Fig. 2: Diagramma ternario tecniche di bonifica/meccanismi d'azione

Strumenti di supporto per l'individuazione dei principali meccanismi d'azione sono le screening matrix:

- matrice elaborata da ISPRA - URL sito: <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/matrici-tecnologie-ispra-rev050908.pdf> ;
- matrice elaborata da EPA - URL sito: https://frtr.gov/matrix2/top_page.html;

Nelle screening matrix vengono descritti, in termini generali, gli approcci di intervento sulla base della tipologia di matrice trattata (suolo/sottosuolo e acque sotterranee), e del luogo in cui viene operata la bonifica (in-site, on-site, ex-site).

Per ogni tipologia di approccio (fisico, chimico o biologico), viene fornita una descrizione di:

- meccanismo d'azione;
- applicabilità;
- limiti di impiego;
- dati necessari per la progettazione;
- costi.

Le informazioni contenute hanno ovviamente valenza orientativa.

L'approccio per la valutazione delle MTD è su due livelli: livello 1, valutazione qualitativa sulla applicabilità delle tecniche e livello 2, analisi multicriteriale di cui nell'Allegato 3 si riporta un'esempio.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 9 di 36</p>

Sono attualmente disponibili tecnologie che implementano meccanismi d'azione non descritti nelle *screening matrix*, ed esistono soluzioni tecnologiche progettate per superare i limiti di impiego descritti nelle suddette matrici (esempio: tecnologie per trattamento acque sotterranee in situ che impiegano l'elettrolisi dell'acqua soluzioni che rendono possibile la dispersione di reagenti ecc..). Si rileva inoltre che la matrice non include la valutazione delle tecnologie di sbarramento, che vanno valutate come tecnologie alternative in determinate situazioni di inquinamento.

Per questi motivi, l'utilizzo delle *screening-matrix*, non è sufficiente per dare evidenza che è stata effettuata una valutazione ragionevolmente accurata dell'orizzonte tecnologico "disponibile".

5.2.2 Fattibilità tecnica

La fattibilità tecnica è legata alla presenza di vincoli (descritti al punto 5.2.2) che rendono inapplicabile o non sostenibile una determinata tecnologia, come:

- assenza di ricettori idonei a smaltire reflui da impianto fisico (es. DPHVE, P&T);
- conducibilità idraulica insufficiente per impianti che prevedono ricircolo di acque (es. GCW);
- presenza di strutture interrato che impediscono contatto tra reagenti e sostanze contaminanti.

Occorre sempre distinguere tra tipologie di vincoli che rendono effettivamente inapplicabile una tecnica e vincoli che possono essere gestiti con un costo aggiuntivo, ad esempio:

- presenza di sottoservizi da preservare (fibre ottiche, tubazioni gas, rete acquedotto, rete fognaria);
- presenza rilevante di sostanze che possono interferire con reagenti da iniettare (solfati, nitrati, ossigeno disciolto, ferro, manganese ecc..);

I vincoli traducibili in "costi economici" dovranno essere valutati assieme alle altre tipologie di costo (ambientale e sociale), mediante criteri di selezione degli interventi, come descritto al punto 4.5.1.

5.3 Scenari di intervento

Uno scenario di intervento costituisce un'alternativa progettuale idonea a conseguire gli obiettivi del Progetto Operativo di Bonifica o Messa in sicurezza Operativa.

L'individuazione degli scenari deve tenere in considerazione due tipi di confinamento:

- temporale, definito dall'autorità competente (anche sulla base dei vincoli non negoziabili, di cui al punto 5.2.2);
- spaziale, individuato dalla perimetrazione del sito come definito dal Modello Concettuale del Sito (di cui al punti 5.2.2).


5.3.1 Confinamento temporale e spaziale

La definizione di un arco temporale per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica, permette al progettista di individuare scenari di intervento a diversa "intensità" in termini di impatti ed esternalità e costituisce quindi un determinante di rilievo nella definizione delle alternative applicabili.

Il periodo di tempo massimo per l'esecuzione di un intervento di bonifica, viene in generale definito sulla base di esigenze di carattere procedurale, pianificatorio ecc.,

Nella definizione dei tempi massimi per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica sono da evitare irrigidimenti non giustificati, in quanto precludono la possibilità di valutare la sostenibilità di interventi a minore intensità e di conseguenza meno impattanti. Si sottolinea, a tal riguardo, che lo strumento analisi di rischio serve esclusivamente per definire le Concentrazioni Soglia Residue (CSR), e non indica l'urgenza dell'intervento.

Nell'ambito temporale massimo di intervento, devono pertanto essere formulate alternative a "intensità" differente, in modo da valutare poi, sulla base dei criteri ambientali, sociali ed economici descritti al paragrafo successivo, la "migliore tecnica disponibile" (BAT), per quel determinato contesto.

	LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA	LG44/DT
<i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i>		Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 10 di 36

Il confinamento spaziale rappresenta la dimensione areale dell'ambito di intervento, costituito da una o più aree omogenee individuate mediante la caratterizzazione (in zona sorgente e/o di plume), in una determinata fase del processo di bonifica/messa in sicurezza.

5.3.2 Approccio integrato

L'approccio di bonifica integrato, prevede di massimizzare l'efficienza impiegando meccanismi d'azione diversi al variare della concentrazione (vedi fig.3).

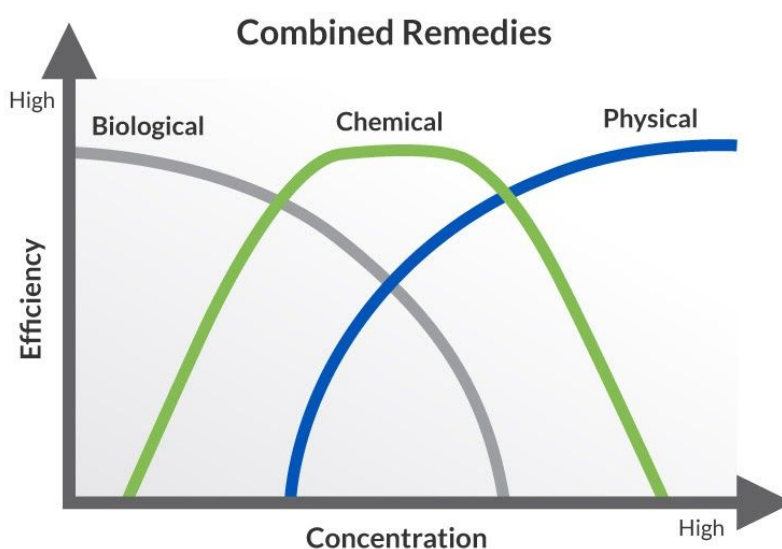



Fig. 3: approccio integrato di bonifica

Le evidenze riportate in Fig. 3 indicano che:

- approcci di tipo biologico hanno un'efficienza elevatissima in termini di $\text{kg}_{\text{cont}}/\text{€}$ di massa rimossa (crescente al diminuire della concentrazione), mentre presentano una bassa efficienza quando la risorsa da minimizzare è il tempo (dd/kg);
- approcci di tipo fisico hanno una elevata efficienza alle concentrazioni elevate, in termini di $\text{kg}_{\text{cont}}/\text{€}$, mentre presentano una bassa efficienza a concentrazioni basse;
- approcci di tipo chimico permettono di ridurre rapidamente concentrazioni medio-alte, ma sono inefficienti con fase separata (concentrazione $\gg C_{\text{sat}}$ residua) e concentrazioni basse;
- contaminazioni elevatissime (con fase separata), possono prevedere approcci di tipo fisico con l'utilizzo di impianti fissi (es. Multi Phase Extraction), oppure l'uso combinato di mezzi fisici e chimici (desorbenti chimici e/o surfattanti e successivo spurgo), oppure l'utilizzo di adsorbenti da iniettare;
- contaminazioni elevate (fase adsorbita), possono essere affrontate in una prima fase, sia con approcci di tipo fisico (estrazione inquinanti con ausilio di desorbenti chimici o surfattanti) che di tipo chimico (più o meno aggressive). La fase successiva molto probabilmente dovrà essere di tipo biologico oppure (nel caso in cui il trend di diminuzione permetta una previsione temporale del raggiungimento degli obiettivi di bonifica), può essere monitorata l'attenuazione naturale;

	LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA	LG44/DT
<i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i>		Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 11 di 36

- contaminazioni medio-basse, possono prevedere approcci di tipo chimico (poco aggressivo), seguiti da approcci di tipo biologico (composti a lento rilascio di ossigeno o idrogeno), oppure possono essere affrontati interamente con approccio di tipo biologico (con tempi più lunghi).

5.3.3 Formulazione scenari

Per ogni situazione di inquinamento possono essere individuate più combinazioni di tecnologie a diversa intensità. Devono quindi essere formulati scenari di intervento con diverse performance rispetto alle tre componenti ambientale, sociale ed economica. Le alternative progettuali vengono costruite mediante combinazioni di tecniche di bonifica applicate con logica spaziale (diverse tecniche su diverse aree omogenee) e/o temporale (successioni di tecnologie sulla stessa area omogenea). L'intensità di uno scenario di trattamento varia in base alla diversa combinazione di approcci di intervento attivi (*active remedial effort*), e approcci di intervento passivi (*passive remedial effort*). Gli approcci attivi sono basati sull'utilizzo massiccio di energia e reagenti chimici, mentre quelli di tipo passivo sono principalmente basati su meccanismi di carattere biologico.

L'immagine evidenzia la combinazione temporale di approcci correttivi attivi e passivi; il punto di transizione tra i due approcci, viene individuato sulla base del fenomeno di "rebound".

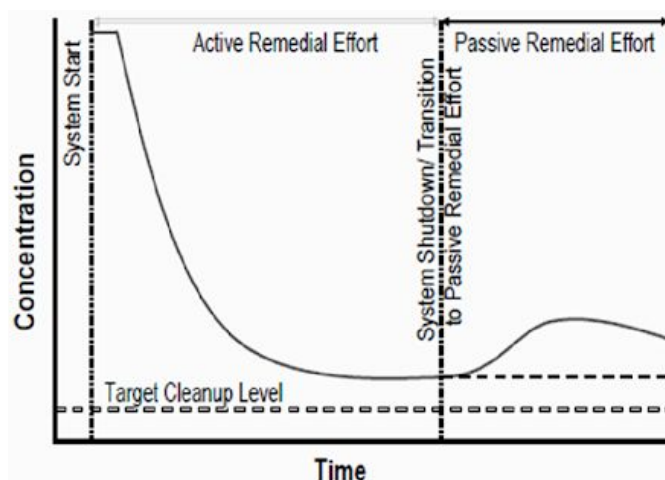



Fig. 4: differenti approcci di intervento in una bonifica

Per ogni tecnologia, inserita in un treno di trattamento, debbono essere definiti dei parametri per la verifica dell'efficienza e dei valori soglia (*endpoint*), che indicano il punto di transizione alla tecnologia successiva.

Nella fase di selezione delle migliori tecnologie disponibili, il dimensionamento delle tecniche, relative ad ogni alternativa, deve essere fatta con un livello di approfondimento "pre-design" (pre-progettazione), sulla base dei dati ottenuti in fase di caratterizzazione e dell'esperienza/evidenze acquisite in casi applicativi (da allegare alla valutazione) mentre per la fase successiva, relativa alla progettazione dello scenario di bonifica individuato come MTD, normalmente è necessario un ulteriore step di caratterizzazione (*remedial design characterization*) per un adeguato dimensionamento dell'intervento approvato dal Progetto Operativo di Bonifica.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 12 di 36</p>

In caso di assenza di esperienze consolidate, è opportuno inserire un test pilota in fase di progettazione, come previsto tra l'altro dall' art. 242 comma 7 D.Lgs. 242/06 (...*"Per la selezione delle tecnologie di bonifica in situ più idonee, la regione può autorizzare l'applicazione a scala pilota, in campo, di tecnologie di bonifica innovative, anche finalizzata all'individuazione dei parametri di progetto necessari per l'applicazione a piena scala, a condizione che tale applicazione avvenga in condizioni di sicurezza con riguardo ai rischi sanitari e ambientali...."*).

Sulla base degli esiti del test verrà redatto progetto "full scale", di intervento sull'area da trattare.

5.4 Selezione del miglior intervento

La migliore tecnica (scenario di intervento/alternativa) in un determinato contesto, è quella che consente il miglior bilanciamento tra le risorse da impiegare nell'ambito di un intervento di bonifica, in questo modo è possibile massimizzare i potenziali benefici ottenibili dalla bonifica.

Occorre quindi temperare le dimensioni della sostenibilità di carattere ambientale, sociale ed economico riportate in Fig. 5, attraverso un sistema di valori condiviso rappresentato operativamente mediante criteri.



Fig. 5: dimensioni della sostenibilità

La definizione dei criteri è la fase preliminare della valutazione comparativa tra i diversi scenari d'intervento effettuata, a seconda della complessità, a livelli diversi di analisi (qualitativa, semi-quantitativa, quantitativa).


5.4.1 Criteri di valutazione

I criteri vengono impiegati per misurare le performance delle alternative progettuali, in termini di aspetti ambientali, sociali ed economici attraverso indicatori.

Tali criteri/indicatori saranno indicati dal proponente nell'ambito della Conferenza di Servizi, e condivisi con gli Enti. Ogni aspetto rilevante e utile al confronto, per essere concretamente rappresentato, deve essere tradotto in un criterio, non ridondante (indipendente da altri), esaustivo e misurabile.

La quantificazione degli indicatori di impronta ambientale, nell'ambito della valutazione delle migliori tecniche disponibili, richiede l'utilizzo di strumenti di supporto e banche dati.


Nei casi più complessi possono essere effettuate delle LCA relative alle alternative di intervento, (*"Spreadsheets for Environmental Footprint Analysis-SEFA"*, scaricabili dal sito CLU-IN di EPA al link <https://clu-in.org/greenremediation/methodology/#SEFA>) ma, nella maggioranza dei casi, non sono necessari sforzi particolari che incrementino significativamente gli oneri di progettazione, e potranno essere utilizzati i criteri proposti in tabella 1.

	<p style="text-align: center;">LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p style="text-align: center;">LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p style="text-align: center;">Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 13 di 36</p>

Tali criteri sono stati utilizzati nell'ambito di alcuni procedimenti di bonifica attivati nel territorio del Comune di Bologna a partire dal 2015.

Tab. 1: Elenco dei criteri ambientali, sociali ed economici proposti - Comune di Bologna

cod	famiglia	descrizione	Unità di Misura	funzione di risposta
1	Ambientale	Consumo materie prime "refined"	t	min
2	Ambientale	Consumo materie prime da riciclo "mps"	t	min
3	Ambientale	Consumo materie prime grezze	t	min
4	Ambientale	Produzione rifiuti pericolosi	t	min
5	Ambientale	Produzione rifiuti non pericolosi	t	min
6	Ambientale	Consumo acqua da acquedotto	mc	min
7	Ambientale	Consumo acqua sotterranea	mc	min
8	Ambientale	Produzione acque di scarico	mc	min
9	Ambientale	Energia consumata	GJ	min
10	Ambientale	Emissioni in situ di NOx, SOx e PM10	kg	min
11	Ambientale	Emissioni in situ di inquinanti pericolosi (HAP)	kg	min
12	Ambientale	Emissioni complessive di NOx, SOx e PM10	kg	min
13	Ambientale	Emissioni complessive di inquinanti pericolosi (HAP)	kg	min
14	Ambientale	Emissioni complessive di CO2	t CO2 eq	min
15	Sociale	Traffico generato	km	min
16	Sociale	Attività con potenziale aerodispersione polvere	ore	min
17	Sociale	Attività con potenziale diffusione odori	ore	min
18	Sociale	Attività potenz. impatto acustico >70 dBA al confine	ore	min
19	Sociale	Rimozione effettiva sostanze inquinanti	mc di matrice	max
20	Sociale	Ore uomo di esposizione lavoratori a sost. inquinanti	ore/uomo	min
21	Economico	Costi diretti - realizzazione impianti	euro	min
22	Economico	Costi diretti - gestione impianti	euro	min
23	Economico	Costi diretti - monitoraggi	euro	min

	LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA	LG44/DT
<i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i>		Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 14 di 36

24	Economico	Costi indiretti - danno immagine	euro	min
25	Economico	Costi indiretti - costo di non-uso	euro	min
26	Economico	Costi indiretti - esternalità negative	euro	min

Ulteriori elementi di dettaglio inerenti l'individuazione dei criteri e la quantificazione degli indicatori sono riportati in Allegato 2.

5.4.2 Livelli di analisi

Le risorse impiegate per la valutazione, devono essere rapportate alla complessità del caso di studio di interesse ("evaluando"). L'obiettivo da raggiungere è la condivisione dei risultati con il minor sforzo possibile.

Si propone un approccio di valutazione a complessità crescente basato su tre livelli, come riportato in Fig.6:

livello 1 - basato su criteri qualitativi;

livello 2 - basato su criteri semi-quantitativi;

livello 3 - basato su criteri quantitativi.

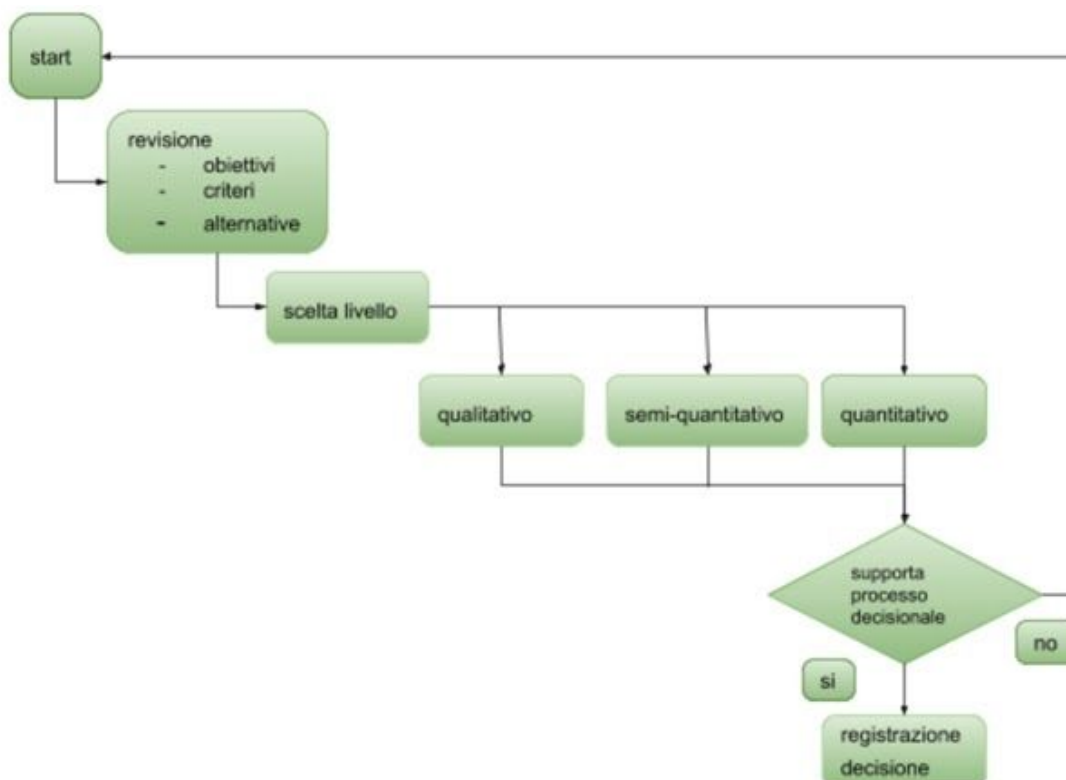


Fig. 6 approccio a livelli

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 15 di 36</p>

Va tenuto presente che il livello 1 è molto efficiente in casi estremamente semplici o in presenza di un'alternativa chiaramente superiore alle altre e non evidenzia in modo fine la differenza tra scenari progettuali con performances confrontabili. Passando quindi all'approccio semi-quantitativo e quantitativo si oggettivizza in maniera più dettagliata la differenze tra gli scenari applicabili.

La valutazione porta quindi ad individuare lo scenario più sostenibile da un punto di vista ambientale, sociale ed economico, attraverso un percorso condiviso che elimina le asimmetrie informative tra i soggetti coinvolti nella progettazione ed approvazione dei vari step del processo di bonifica.

L'applicazione dei singoli livelli di analisi e le relative modalità di calcolo vengono riportate in allegato 3.

6. ALLEGATI

ALLEGATO 1: Caratterizzazione ad alta risoluzione

ALLEGATO 2: Criteri e quantificazione degli indicatori

ALLEGATO 3: Livelli di valutazione delle MTD

ALLEGATO 4: Check list operativa

7. MODULI

Non sono presenti moduli.

8. TABELLA RIASSUNTIVA DELLE REVISIONI

		Natura della modifica	
Rev	Del	Punto	Descrizione
0	01/03/2020		Prima emissione

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 16 di 36</p>

Allegato 1: Caratterizzazione ad alta risoluzione

Introduzione

Il Modello Concettuale Definitivo include:

- le caratteristiche specifiche del sito in termini di stato delle potenziali fonti della contaminazione (attive, non attive, in sicurezza, ecc.);
- grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato;
- percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati nello scenario attuale (siti in esercizio) o nello scenario futuro (in caso di riqualificazione dell'area).

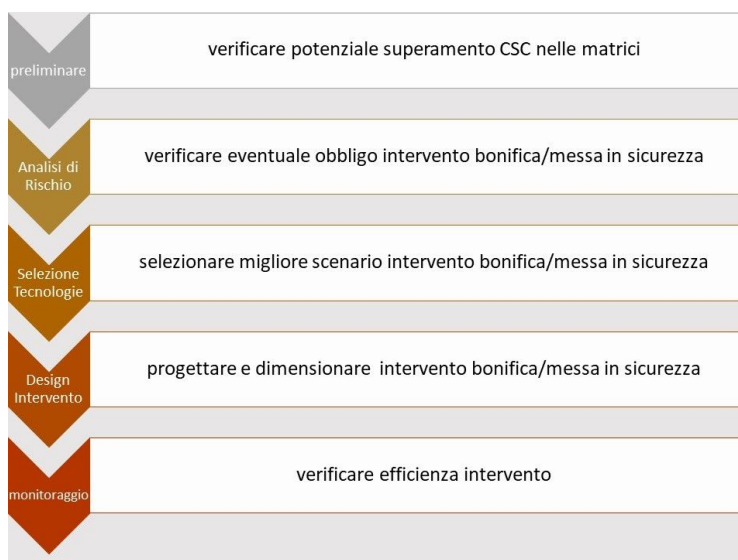
Viene elaborato a partire dalla ricostruzione storica del sito e dai dati ottenuti da eventuali indagini condotte nelle varie matrici ambientali nel corso della normale gestione del sito, per essere poi integrato con le attività di caratterizzazione pianificate sulla base delle informazioni ottenute nella fase preliminare. Nello stesso allegato viene quindi specificato che: *la Caratterizzazione del sito si riterrà conclusa con la definizione da parte del Proponente e l'approvazione da parte delle Autorità Competenti, dei livelli di concentrazione residua accettabili nel terreno e nelle acque sotterranee mediante l'applicazione dell'analisi di rischio secondo quanto previsto dall'Allegato 1.*

Le fasi successive a quella dell'Analisi di Rischio, quali:

- selezione delle migliori tecniche disponibili;
- progettazione della soluzione individuata come MTD;
- monitoraggi (in itinere e post-bonifica);

Le fasi successive a quella dell'Analisi di Rischio e alla selezione delle migliori tecniche disponibili, possono richiedere ulteriori attività di indagine a supporto della progettazione della tecnica di risanamento individuata e a supporto dei monitoraggi in itinere e post bonifica.

Nel diagramma di flusso a lato viene sintetizzato, per ogni step procedurale, l'obiettivo per il quale il MCS deve fornire un adeguato supporto alle decisioni e può essere integrato con informazione aggiuntiva.



	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 17 di 36</p>

Ciclo di vita del Modello Concettuale del Sito

Come accennato al punto 5.2.1, la comunità scientifica internazionale, riconosce come la probabilità di successo di un intervento di bonifica sia maggiormente correlata all'accuratezza della caratterizzazione che alla tipologia di tecnologia impiegata.

Assume quindi una rilevanza strategica, in fase di selezione delle migliori tecnologie di bonifica, che il Modello Concettuale del Sito, abbia un livello di risoluzione adeguato ad interpretare la distribuzione della contaminazione nell'area di intervento.

High Resolution Site Characterization

Descrizione approccio

La disponibilità di tecnologie di indagine innovative, ha consentito l'affermazione della strategia di caratterizzazione denominata High Resolution Site Characterization (HRSC).

L'obiettivo principale dell'approccio è quello di discretizzare la distribuzione della contaminazione con un livello di risoluzione adeguato ad interpretare la variabilità sito-specifica, fornendo una caratterizzazione del sito più efficiente e consentendo la selezione, la progettazione e l'implementazione degli interventi di bonifica/messa in sicurezza più appropriati.

La strategia HRSC si basa su:

- tecnologie direct-sensing e real time
- acquisizione informazioni su linee di evidenza multiple (più matrici in sequenza);
- integrazione ed elaborazione di dati da fonti diverse⁴

Questa strategia può (dovrebbe) essere impiegata su siti di ogni dimensione in quanto ha la caratteristica di essere "scalabile" (garantisce efficienza nella gestione delle risorse, in quanto adegua la densità di informazione necessaria, alla variabilità/eterogeneità sito-specifica).

Tecnologie direct-sensing

Le tecnologie comunemente associate ad HRSC includono apparecchiature di rilevamento diretto in campo ed in tempo reale (direct-sensing & real time).

Vengono di seguito sinteticamente descritte alcune tecnologie impiegate nella caratterizzazione. L'impiego in campo avviene (anche simultaneo di più tecnologie), nella maggioranza dei casi, mediante utilizzo di attrezzature Direct-Push o CPT.

EC - Electric Conductivity;

Si misura la conduttività del suolo mediante un sensore (dipolo). Il processo consiste nell'immissione di corrente alternata nel terreno attraverso due contatti isolati presenti sulla punta del sensore, provocando un ritorno sul corpo della stessa così che la misura della conducibilità rappresenti il voltaggio di corrente generata tra questi due punti (contatti isolati e corpo punta).

HPT - Hydraulic Profing Tool;

il sistema HPT permette di determinare con precisione il livello statico della tavola d'acqua in cui si trova il sensore. Consiste nel registrare la pressione necessaria ad iniettare un flusso di acqua nel sottosuolo attraverso una membrana rimovibile in acciaio (diametro di 7,6 mm).

⁴ set diversi di dati ad alta densità di tipo semi-quantitativo, ottenuti con tecnologie di caratterizzazione innovative, su più livelli di evidenza, integrati con dati quantitativi con limitata risoluzione spaziale, ottenuti con tecnologie tradizionali (analisi di laboratorio su terreni, acque sotterranee e soil-gas).

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 18 di 36</p>

La procedura per il calcolo del livello idrostatico viene effettuata mediante un test di dissipazione, durante il quale si interrompe l'infissione del supporto con il sensore. viene misurato il tempo necessario per dissipare, fino alla stabilizzazione, le pressioni indotte dal sistema HPT nel terreno. La pressione stabilizzata rappresenta la pressione idrostatica alla profondità alla quale è stato eseguito il test.

Elaborando i dati di pressione stabilizzata, pressione atmosferica e profondità in cui è stato effettuato il test, è possibile calcolare la profondità della tavola d'acqua.

Il "dissipation test" viene ripetuto più volte lungo la verticale di infissione per valutare le variazioni di carico piezometrico della tavola d'acqua ed eventualmente individuare corpi acquiferi isolati o confinati.

MIP - Membrane Interface Probe;

Il sistema MIP è un dispositivo in grado di rilevare in modo semi-quantitativo la concentrazione dei VOC (Volatile Organic Compounds) nel sottosuolo insaturo e saturo in funzione della profondità.

Il sensore MIP è costituito da un corpo principale in acciaio dotato di una particolare membrana riscaldabile fino a 130°C. Durante l'avanzamento la membrana riscaldata entra in contatto con i contaminanti presenti nel terreno, che verranno "assorbiti" dal polimero della membrana. Una volta assorbiti, le molecole dei VOC passano (per diffusione) in una piccola camera interna e, poiché la membrana è riscaldata (temperatura di lavoro da 80° a 130° C) e molto sottile, il passaggio avviene in modo pressoché istantaneo.

Dopo la propagazione attraverso la membrana, i VOC vengono condotti in superficie sospinti da un carrier gas (gas inerte di trasporto, nel caso specifico, azoto N₂) fino al sistema di rilevamento costituito da un Gascromatografo da campo, equipaggiato con sensori:

FID (Flame Ionization Detector);

PID (Photo Ionization Detector);

XSD (Halogen-Specific Detector).

Il sensore FID utilizza una fiamma che sfrutta l'idrogeno per bruciare i composti e ionizzarli, consentendo l'identificazione di composti molecolari aventi legami carbonio-idrogeno ed idrocarburi alifatici.

Lo svantaggio di tale rilevatore è l'incapacità di fornire informazioni su composti come ad esempio H₂S (Idrogeno solforato), CCl₄ o NH₃ (Ammoniaca).

Il sensore PID è composto da una lampada UV montata su una cella termostata (fino a 250°C) di basso volume (100µl) e basso flusso. Il fotoionizzatore (PID) risulta essere sensibile agli idrocarburi aromatici (BTEX) e a sostanze con legame covalente semplice e doppio.

il sensore XSD opera attraverso la combustione del gas che produce dei composti alogenati che reagiscono con gli atomi alcalini presenti sulla superficie di una piastra di platino carica elettricamente. La piastra funziona come emettitore di elettroni: una volta avvenuta la reazione tra il composto alogenato e la piastra stessa, dalla misura della corrente elettrica generata è possibile determinare le specie alogenate in modo selettivo. Il sensore XSD è quindi idoneo per idrocarburi clorurati, solventi clorurati e composti alogenati.

Laser Induced Fluorescence (LIF)

La fluorescenza indotta dal laser (LIF) è un metodo per lo screening in tempo reale di contaminanti organici nel suolo insaturo, frangia capillare, suolo saturo e acque sotterranee. La tecnologia ha lo scopo di fornire informazioni altamente dettagliate, qualitative a semiquantitative sulla distribuzione della contaminazione del sottosuolo di prodotti petroliferi contenenti idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 19 di 36</p>

La Tecnologia LIF può essere utilizzata anche per rilevare: idrocarburi monoaromatici (BTEX), se viene impiegato un diodo a emissione di luce ultravioletta (LED UV); altri NAPL, mediante l'utilizzo di coloranti idrofobici che presentano caratteristiche fluorescenti, che si ripartiscono sulle sostanze NAPL, ed emettono un pattern fluorescente caratteristico, diverso dal colorante che non si è ripartito.

L'attrezzatura LIF attualmente disponibile non è progettata per rilevare contaminanti in fase disciolta.

La sensibilità di LIF agli idrocarburi di petrolio sul suolo ha dimostrato di essere inversamente proporzionale alla superficie disponibile del substrato del suolo. I terreni sabbiosi tendono ad avere una superficie disponibile totale molto più bassa rispetto ai terreni argillosi. Una concentrazione specifica di composti idrocarburi del petrolio nei terreni sabbiosi produce generalmente una risposta di fluorescenza corrispondentemente più elevata rispetto a una concentrazione equivalente in terreni ricchi di argilla (Bujewski e Rutherford 1997).

Relativamente ai composti organici clorurati come percloroetilene e tricloroetilene, non avendo caratteristiche di fluorescenza, per essere rilevati mediante coloranti fluorescenti iniettati prima del sensore, in modo che lo stesso possa rilevare la risposta del colorante ripartito.

Sono attualmente disponibili sei sistemi fluorescenti UV, dei quali cinque utilizzano il laser, mentre un LED per generare luce UV a 254 nm.

Environmental Molecular Diagnostic (EMD)

La diagnostica molecolare ambientale (EMD) è un gruppo di tecniche avanzate ed emergenti utilizzate per analizzare le caratteristiche biologiche e chimiche dei campioni ambientali. Gli EMD hanno applicazioni in ogni fase della gestione del sito e forniscono ulteriori linee di evidenza per il supporto alle decisioni.

L'esecuzione di analisi EMD su un sottoinsieme selezionato di campioni raccolti durante l'indagine del sito aiuta nella caratterizzazione del sito e nella valutazione delle tecnologie efficaci di intervento.

Vengono di seguito sinteticamente descritti i metodi di indagine EMD:

Compound Specific Isotope Analysis (CSIA)

Ogni elemento all'interno del contaminante ha un rapporto isotopico distinto (che è il rapporto tra isotopi pesanti e leggeri, come $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ in carbonio all'interno di TCE), Questo rapporto è chiamato delta (δ). A causa delle lievi differenze nell'energia di legame, la biodegradazione e il degrado chimico si verificano leggermente più rapidamente per le molecole contenenti solo elementi con isotopi leggeri rispetto a quelli con isotopi leggeri e pesanti. Questa differenza porta ad un arricchimento isotopico nella molecola madre e la forza di questo arricchimento è definita fattore di arricchimento (ϵ).

Principali applicazioni


- valutazione processi di attenuazione naturale MNA.
- distinguere plume da sorgenti diverse.

Ad esempio, un problema frequente nell'interpretazione della diffusione della contaminazione da solventi alogenati è l'individuazione di tutti gli Hot-Spot che alimentano il plume. La capacità di misurare gli isotopi stabili nonché le quantità relative di ciascun isotopo stabile nei contaminanti (i rapporti tra isotopi spesso cambiano in modi diversi e prevedibili in risposta a processi biologici e fisici).

L'analisi isotopica dei contaminanti mediante CSIA può quindi rispondere a domande altrimenti irrisolvibili sulle sorgenti dei contaminanti, il tasso ed il meccanismo di degrado.

Quantitative Polymerase Chain Reaction (qPCR)

qPCR è un metodo analitico di laboratorio che amplifica e quantifica selettivamente i geni di interesse in un campione. La preparazione del campione prevede la raccolta e la concentrazione di cellule microbiche da suolo o acque sotterranee e la successiva estrazione di acido desossiribonucleico

	<p style="text-align: center;">LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p style="text-align: center;">LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p style="text-align: right;">Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 20 di 36</p>

(DNA). Questi metodi vengono in genere utilizzati per quantificare l'abbondanza e l'attività dei microrganismi bersaglio in grado di biodegradare i contaminanti o di geni.

Tradizionalmente, i metodi basati sulla crescita dei microrganismi bersaglio in laboratorio (come microcosmi, conta delle placche o analisi del numero più probabile - MPN) sono stati usati per stimare popolazioni microbiche che degradano i contaminanti. Tuttavia, le tecniche dipendenti dalla coltivazione forniscono dati parziali perché oltre il 99% dei microrganismi presenti nell'ambiente non può essere coltivato in condizioni standard di laboratorio.

Principali applicazioni

Individuare esistenza e relativa abbondanza della comunità batterica in grado di degradare le sostanze contaminanti del sito

Microbial Fingerprinting Methods

I metodi di impronta microbica differenziano i microrganismi o i gruppi di microrganismi in base alle caratteristiche uniche di un componente universale o di una sezione di una biomolecola (come fosfolipidi, DNA o RNA). Questi metodi possono chiarire la struttura della comunità iniziale di un sito e mostrare i cambiamenti nell'attività microbica dopo il trattamento.

I metodi principali sono:

- a) PLFA: Phospholipid Fatty Acid - crea un profilo o un'impronta digitale della comunità microbica praticabile e fornisce informazioni in diversi sulla base dei diversi fosfolipidi presenti nella membrana cellulare;
- b) DGGE: Denaturing Gradient Gel Electrophoresis - L'analisi DGGE e di sequenza fornisce un profilo basato sul DNA della comunità microbica e consente l'identificazione degli organismi predominanti generalmente a livello di famiglia o di genere.
- c) DGGE: T-RFLP: Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism, comporta la digestione di materiale genetico (DNA) con enzimi di restrizione che scindono il DNA in siti specifici. Questi siti differiscono tra microrganismi, con conseguente diversa lunghezza (e sequenze) di frammenti di DNA, che possono essere utilizzati per identificare alcuni membri di una comunità microbica e fornire un'impronta digitale della sua composizione.

Microarrays

I microarrays sono una raccolta di brevi filamenti di DNA (denominati "sonde"), collegati ad una superficie solida (ad es. un vetrino). Le sonde sono selezionate per la loro specifica sequenza di DNA nota, a cui solo i pezzi complementari di DNA (bersaglio) si legheranno (ibrideranno). Dopo che il DNA è stato estratto da un campione ambientale, viene frammentato ed etichettato con prodotti chimici fluorescenti ed applicato al microarray. Quando si verifica l'ibridazione (cioè il legame specifico), il DNA marcato completa la rispettiva sonda per microarray collegata, producendo segnali fluorescenti caratteristici. I filamenti di DNA che non hanno una sonda complementare sul microarray vengono rimossi in una successiva fase di lavaggio, mentre rilevazione e quantificazione vengono basate sul segnale fluorescente rimasto dopo la fase di lavaggio.

I microarrays possono monitorare i cambiamenti nella struttura della comunità e il contenuto genico funzionale in risposta a trattamenti come la biostimolazione, in particolar modo quando la biodegradazione interessa sistemi complessi (riduzione di metalli pesanti, mix di contaminanti), E' così possibile monitorare su scala temporale e spaziale la risposta della comunità microbica all'azione correttiva.

Stable Isotope Probing (SIP)

Il metodo di analisi SIP include una famiglia di tecniche che utilizza contaminanti arricchiti con isotopi stabili (es. benzene marcato ¹³C). per caratterizzare i processi di biodegradazione specifici dei contaminanti.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 21 di 36</p>

Il principio alla base di tutte le tecniche SIP è che la biodegradazione di contaminanti arricchiti isotopicamente porta all'etichettatura selettiva di biomolecole come DNA, RNA o acidi grassi e fosfolipidi (con conseguente DNA marcato con ^{13}C o acidi grassi marcati con ^{13}C nell'esempio del benzene) in organismi responsabili della degradazione.

La maggior parte delle attuali applicazioni della tecnica SIP fanno uso di contaminanti arricchiti con ^{13}C . Le tecniche SIP basate su ^{13}C possono potenzialmente essere applicate a qualsiasi tipo di campione ambientale e possono anche essere utilizzate per esaminare la biodegradazione di qualsiasi composto utilizzato dai microrganismi come unica (o predominante) fonte di carbonio per la crescita. Tuttavia, nella pratica attuale, SIP viene utilizzato per due scopi principali;

(a) dimostrare che un contaminante specifico subisce biodegradazione in un ambiente specifico (PLFA-SIP)

(b) identificare gli organismi coinvolti in specifici processi di biodegradazione (DNA / RNA-SIP).

SIP non è efficace per indagare attività di biodegradazione su sostanze accettori di elettroni (es. eteni clorurati).


Enzyme Activity Probes (EAPs)

Gli enzimi sono in genere proteine e sono responsabili della catalizzazione di tutte le reazioni biochimiche provocate dai microrganismi. Le reazioni catalizzate dagli enzimi convertono uno o più composti di partenza (substrati) in uno o più prodotti. Tuttavia, raramente gli enzimi sono assolutamente specifici e spesso possono trasformare composti diversi dal loro substrato fisiologicamente rilevante. Le sonde di attività enzimatica (EAP) sfruttano questa mancanza di specificità enzimatica e fungono da substrati alternativi o surrogati per enzimi specifici coinvolti nei processi di degradazione dei contaminanti. Gli EAP sono utili perché possono essere aggiunti a campioni ambientali, dove vengono trasformati dai loro enzimi target in prodotti distinti e facilmente rilevabili. Questi prodotti possono essere rilevati mediante metodi fluorimetrici, colorimetrici o analitici, che determinano se esiste una risposta positiva. La maggior parte degli enzimi che degradano i contaminanti sono attivi solo nelle cellule microbiche intatte, quindi una risposta positiva a un EAP può indicare la presenza di microrganismi che possiedono forme attive dell'enzima bersaglio. Una risposta positiva suggerisce anche che la biodegradazione dei contaminanti è quindi possibile nel sito e potrebbe persino indicare che la biodegradazione è in corso.

Fluorescence In Situ Hybridization (FISH)


L'ibridazione in situ a fluorescenza (FISH) è un metodo di biologia molecolare utilizzato per visualizzare ed enumerare tipi specifici di microrganismi o gruppi di microrganismi in un campione ambientale. Il metodo non richiede l'isolamento o la coltivazione di microrganismi e consente l'esame di microrganismi in campioni ambientali complessi con un'interruzione minima della comunità microbica naturale.

All'interno di miscele complesse di microrganismi, il metodo FISH può intercettare sia gruppi generali di microrganismi (come gli organismi che producono metano) sia specifiche specie degradanti di interesse come *Dehalococcoides mccartyi* (Dhc). Inoltre, FISH può fornire alcune informazioni sull'attività generale delle popolazioni microbiche di interesse. FISH non richiede la coltivazione degli organismi. Questo metodo consente anche lo studio (visualizzazione) di cellule intere nella matrice campionata, contenente nella maggioranza dei casi microrganismi sconosciuti o non coltivabili. La tecnica FISH richiede l'inserimento di una sonda all'interno di una cellula microbica (in situ) che riconosce una specifica sequenza di DNA e consente il conteggio diretto del numero di cellule che stanno degradando il contaminante di interesse.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 22 di 36</p>

FISH è il metodo di elezione rispetto ad altri EMD quando gli altri metodi non sono tecnicamente fattibili (ad esempio, se non sono disponibili primer qPCR) o quando sono necessarie informazioni sulla struttura di comunità microbiche miste per valutare il verificarsi della biodegradazione.

In generale, i limiti di rilevazione di 100 cellule o inferiori in un campione possono essere raggiunti con analisi FISH (Moreno et al. 2011). In generale, le procedure di campionamento per l'analisi FISH sono semplici e sono prontamente integrate nei protocolli di monitoraggio esistenti.

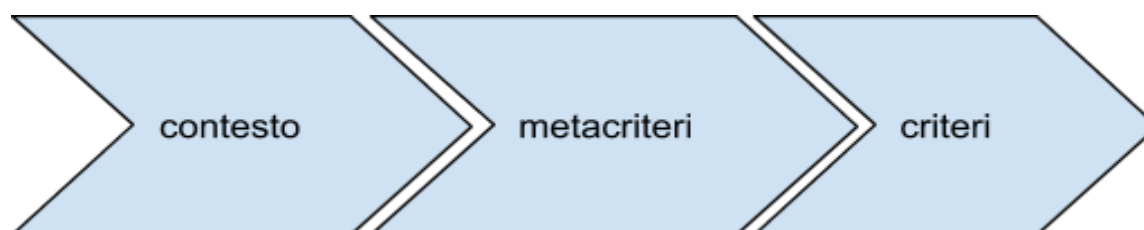
	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 23 di 36</p>

Allegato 2: criteri e quantificazione degli indicatori

I Criteri (dal greco: crino = giudicare, distinguere), consentono di tradurre operativamente l'obiettivo della valutazione e servono per confrontare le diverse alternative tecnicamente fattibili.

L'individuazione dei criteri è un processo a cascata: a partire da una analisi del contesto vengono definiti i metacriteri o criteri tecnici generali:

, caratterizzati da con un elevato livello di astrazione. Questi vengono tradotti operativamente in criteri che consentono di misurare le performance delle alternative.




<p>occorre definire le peculiarità e fragilità del contesto in cui si trova il sito</p>	<p>per ogni aspetto della sostenibilità (AMB, SOC, ECON), vengono definiti metacriteri, che descrivono il sistema di valori con cui valutare le alternative</p>	<p>per tradurre operativamente i metacriteri, vengono definiti i criteri, con diversa metrica: qualitativa o quantitativa sulla base del livello di approfondimento e della complessità dell'oggetto della valutazione</p>
---	---	--

Metacriteri

Per l'individuazione dei metacriteri occorre principalmente far riferimento a quanto previsto dalla normativa (all'interno della quale sono definiti come criteri generali), ed eventualmente con supporto di framework prodotti dalla comunità scientifica (es. SuRF UK).

SuRF UK individua sei "Principi Chiave" per valutare la sostenibilità di un processo di bonifica, da valutare attraverso indicatori/criteri. Tali "Principi Chiave", sono o aiutano a definire metacriteri.

- Principio 1: Salvaguardare la salute umana e dell'ambiente. L'obiettivo principale di una bonifica è l'eliminazione dei rischi inaccettabili per la salute umana e la protezione dell'ambiente nel suo complesso nel presente e nel futuro.
- Principio 2: Garantire pratiche di lavoro sicure. E' fondamentale che i lavori di bonifica siano sicuri e che siano garantite tutte le protezioni necessarie per gli operatori, per le comunità locali e per l'ambiente.
- Principio 3: Assicurare processi decisionali condivisi, chiari e ripercorribili. Le decisioni legate al processo di bonifica sostenibile devono essere prese considerando gli attuali aspetti economici, sociali ed ambientali e le potenziali implicazioni future. Solo in tal modo è possibile massimizzare i potenziali benefici ottenibili dalla bonifica.
- Principio 4: Riportare tutte le informazioni in modo chiaro e trasparente. Le decisioni legate al processo di bonifica, incluse le assunzioni ed i dati utilizzati a supporto, dovrebbero essere documentate in un formato chiaro e facilmente comprensibile in modo da dimostrare alle parti interessate che è stata adottata una soluzione sostenibile.
- Principio 5: Gestione ottimale e coinvolgimento degli stakeholders. Le decisioni legate al processo di bonifica devono essere prese considerando la posizione degli stakeholders e garantendone la partecipazione.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 24 di 36</p>

- Principio 6: Procedimento scientifico. Le decisioni dovrebbero essere prese sulla base di informazioni e dati accurati, rilevanti e scientifici e/o su assunzioni e giudizi professionali adeguatamente illustrati. Ciò è necessario per garantire che le decisioni prese siano basate sulle migliori informazioni disponibili e siano giustificabili e riproducibili.

Questi principi aiutano ad individuare set di metacriteri, che consentano una valutazione dei tre aspetti della sostenibilità.

Identificazione dei criteri

Nell' allegato 3 titolo V parte IV D.Lgs. 152/06, si richiamano le indicazioni enunciate nella Direttiva comunitaria 96/61/CE relativa al "Controllo e prevenzione integrata dell'inquinamento" (IPPC), aggiornati nella Direttiva 2010/75/UE applicabili all'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD) per la bonifica. La tecnica migliore è quella selezionata "tra le possibili tipologie d'intervento applicabili", bilanciando i vari interessi in presenza di numerose variabili, sia di ordine generale che sito – specifiche".

Mantenendo quale elemento prioritario il livello di protezione ambientale, le Migliori Tecniche vengono quindi selezionate tra quelle che:

1. risultano più efficienti nel raggiungere gli obiettivi prefissati, valutando i tempi di esecuzione, l'impatto sull'ambiente circostante e i costi complessivi;
2. tendono a trattare e riutilizzare il suolo nel sito, con conseguente riduzione dei rischi derivanti dal trasporto e messa a discarica di terreno inquinato, permettono il risparmio idrico mediante il riutilizzo delle acque trattate, minimizzando così la produzione di rifiuti;
3. evitano i rischi igienico-sanitari per la popolazione durante lo svolgimento degli interventi, limitando al massimo l'inquinamento dell'aria, delle acque sotterranee e superficiali, del suolo e sottosuolo, nonché ogni inconveniente derivante da rumori e odori.

Sulla base criteri generali descritti nell'allegato 3 del D.Lgs. 152/06, ed eventualmente dei principi chiave definiti dalla comunità scientifica, vengono definiti dei metacriteri per ogni elemento rilevante relativo al contesto di interesse.


ambientale	sociale	economico
inquinamento aria	viabilità	costi diretti
consumo risorse	sicurezza residenti	costi indir.: non uso
produzione rifiuti	disagio per polvere, odori, rumore	costi indir.: immagine
consumo energia	degrado urbano	costi indir.: contenzioso privati
inquinamento acque	percezione rischio (es. subsidenza)	costi indir.: esternalità

I metacriteri vengono quindi declinati in set di criteri specifici che inquadrano operativamente gli elementi di interesse per valutare le performance di ogni scenario fattibile.

Esempi:

- il criterio generale descritto nell'allegato 3 : "...privilegiare le tecniche di bonifica tendenti a trattare e riutilizzare il suolo nel sito, trattamento in-situ ed on-site con conseguente riduzione dei rischi da trasporto e messa in discarica di terreno inquinato...." verrà tradotto operativamente, introducendo i seguenti criteri di valutazione:

famiglia	descrizione	metrica	funzione di risposta
----------	-------------	---------	----------------------

	<p style="text-align: center;">LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p style="text-align: center;">LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p style="text-align: center;">Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 25 di 36</p>

AMB	Produzione rifiuti pericolosi	t	min
AMB	Produzione rifiuti non pericolosi	t	min

- il criterio generale descritto nell'allegato 3 : "...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....."

famiglia	descrizione	metrica	funzione di risposta
SOC	Attività con potenziale aerodispersione polvere	ore	min
SOC	Attività con potenziale diffusione odori	ore	min
SOC	Attività potenziale impatto acustico >70 dBA al confine	ore	min

- di seguito vengono riportati esempi di criteri di costo

famiglia	descrizione	metrica	funzione di risposta
ECON	costi diretti - legati alla realizzazione e gestione impianto)	euro	min
ECON	costi indiretti - "non uso" dell'area di intervento	euro	min
ECON	costi indiretti - esternalità negative attività confinanti	euro	min

Nell'individuazione del set di criteri, occorre fare particolare attenzione alle caratteristiche quali:


- pertinenza: i criteri devono avere una certa attinenza/competenza rispetto alla problematica da descrivere;
- completezza: i criteri devono descrivere completamente un aspetto;
- rilevanza: per non complicare inutilmente un processo valutativo, occorre inserire nel dataset i criteri più rilevanti rispetto ad una problematica, nel contesto di interesse.
- semplicità e comprensibilità: per ridurre asimmetria informativa, occorre individuare criteri con semantica e metrica comprensibili a tutti gli stakeholders coinvolti;
- comparabilità: i criteri individuati, devono permettere di confrontare le varie alternative;
- fattibilità: informazioni e dati per valorizzare i criteri devono essere facilmente reperibili per non aggravare inutilmente i costi della progettazione. Debbono quindi essere utilizzabili dati disponibili al progettista. Per il calcolo di criteri relativi all'impronta ambientale in allegato 4, è presente database con fattori di conversione, con esempi di utilizzo.
- condivisibilità: per ottenere agreement, i criteri debbono essere condivisi tra gli stakeholder (proponente e valutatori);
- non ridondanza: la caratteristica di non ridondanza, serve ad evitare di sovrastimare un aspetto, descrivendolo mediante più criteri.

Calcolo dell'impronta ambientale metodo EPA

La quantificazione degli indicatori di impronta ambientale, da utilizzare come criteri nell'ambito della valutazione delle migliori tecniche disponibili, richiede l'utilizzo di strumenti di supporto e banche dati. Nei casi più complessi possono essere effettuate delle LCA relative alle alternative di intervento, ma nella maggioranza dei casi, non sono necessari sforzi particolari che incrementino significativamente gli oneri di progettazione.

Per agevolare la quantificazione degli indicatori (metrics), è possibile utilizzare fogli di calcolo ("Spreadsheets for Environmental Footprint Analysis-SEFA⁵"), scaricabili dal sito CLU-IN di EPA.

⁵ <https://clu-in.org/greenremediation/methodology/#SEFA>

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 26 di 36</p>

Le informazioni da inserire possono essere raccolte da documenti di progetto, record di campo e altre risorse esistenti.

Utilizzando il materiale fornito da EPA, si ottengono peraltro metriche con le unità di misura anglosassoni. Per quantificare indicatori con le unità di misura utilizzate in Italia, viene fornita, come allegato alla presente Linea Guida, una banca dati con i fattori di conversione utilizzati da EPA, tradotti nel sistema S.I..

Il database serve sostanzialmente per il calcolo dell'energia totale e delle emissioni in atmosfera (globali e locali), di gas serra e altri macro e microinquinanti, di un intervento di bonifica/messa in sicurezza.

Altri indicatori ambientali es.: consumo di risorse, acqua, combustibili, energia elettrica, produzione rifiuti, sono ottenibili direttamente dai dati di pre-fattibilità.



<p>si utilizzano informazioni di pre-progettazione, che il responsabile della bonifica ha a disposizione per valutare una opzione di intervento</p>	<p>si estraggono dati stimati relativi a: consumo di materie prime, acqua, energia elettrica, combustibili, rifiuti prodotti</p>	<p>si utilizzano banche dati di fattori di conversione o software di LCA, che permettono di calcolare impronta ambientale</p>	<p>gli indicatori ottenuti sono: energia totale CO2 equivalente NOx SOx HAP (Hazard Air Pollutants)</p>
---	--	---	---

Descrizione dello scenario di intervento in fase di pre-progettazione

Sulla base di un modello concettuale aggiornato con informazioni necessarie per la fase di selezione delle migliori tecnologie (normalmente è necessario un approfondimento delle conoscenze utilizzate per l'analisi di rischio), vengono costruiti scenari di massima per la bonifica/messa in sicurezza di una determinata situazione di inquinamento.

Per ogni scenario/alternativa di bonifica/messa in sicurezza, devono essere prese in considerazione le seguenti fasi:

- a) costruzione impianto;
- b) realizzazione bonifica/messa in sicurezza;
- c) monitoraggio


Per ognuna di queste attività devono essere conteggiati:

1. materie prime impiegate;
2. rifiuti prodotti;
3. consumo di acqua;
4. produzione acque di scarico
5. consumo di energia elettrica;
6. consumo di combustibili fossili;

1. Dati di input

Sulla base dei dati di pre-progettazione, vengono stimati:

- materie prime
- rifiuti

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 27 di 36</p>

- acque: consumo e scarico
- energia elettrica
- combustibili

1.1. materie prime

Debbono essere specificate solo le materie prime che vengono utilizzate, in quantità significative, durante le attività di bonifica.

Non debbono essere considerati i materiali costitutivi di impianti, che verranno riutilizzati (es. materiale costruttivo dei serbatoi di reagenti o dei filtri).

Può essere utile quantificare il PVC utilizzato per piezometri e pozzi, nel caso in cui se ne preveda un utilizzo rilevante.

Le materie prime vengono inoltre suddivise in grezze e raffinate. Nel database sono ovviamente comprese tutte le sostanze ed i prodotti commerciali disponibili sul mercato, quindi nel caso in cui non sia esplicitamente presente una materia prima, occorrerà trattarla genericamente come materia prima grezza o raffinata.

1.2. rifiuti

Sono rappresentati dal materiale di risulta da scavi, estrazione prodotto in emulsione dal mezzo insaturo, utilizzo materiale filtrante, attività di spurgo piezometri per campionamento.

1.3. consumo di acque

Occorre distinguere se trattasi di acque da acquedotto o prelevate dalla falda.

Vengono normalmente impiegate nei sondaggi a distruzione di nucleo e nella miscelazione con reagenti (specialmente nei trattamenti ISCO).

1.4. acque di risulta

Sono le acque estratte con impianti fissi o con mezzi mobili. Quando vengono trattate per lo scarico in fognatura (Pump and Treat), i reflui vengono trattati come acque di scarico, quando vengono estratte per lo smaltimento come rifiuti (Pump and Stock).

1.5. energia elettrica

Viene stimato il consumo di energia elettrica da rete. In caso di utilizzo di energia elettrica autoprodotta, viene conteggiato il combustibile consumato dal gruppo elettrogeno.


1.6. combustibili

Occorre stimare in modo distinto il consumo di gasolio utilizzato per attività in sito (macchine operatrici, gruppi elettrogeni ecc.), da quello utilizzato per spostamenti (trasporto materiali, trasporto di persone per manutenzioni e monitoraggi).

2. fattori di conversione

I fattori di conversione descritti in premessa, vengono utilizzati per il calcolo dei seguenti indicatori:


● Energia consumata
● Emissioni in situ di NO _x , SO _x e PM ₁₀
● Emissioni in situ di inquinanti pericolosi (HAP)
● Emissioni complessive di NO _x , SO _x e PM ₁₀
● Emissioni complessive di inquinanti pericolosi (HAP)
● Emissioni complessive di CO ₂

	<p style="text-align: center;">LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p style="text-align: center;">LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p style="text-align: center;">Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 28 di 36</p>

a partire dai dati di input descritti al punto 2, secondo quanto sottoriportato in tabella (fonte: EPA - <https://clu-in.org/greenremediation/methodology/#SEFA>- elaborazione Arpae ER)

Tabella fattori conversione

Fattori di conversione			Energia	CO2e	NOx	SOx	PM	HAP
		Unità base	GJ	kg	kg	kg	kg	kg
carburante (lavorazione + combustione) sotto dettaglio	Biodiesel	L	4,35E-02	-7,29E+00	3,46E-02	1,96E-02	6,05E-04	0,00E+00
	Diesel	L	4,40E-02	4,30E+00	2,42E-02	8,36E-03	6,09E-04	7,18E-05
	Benzina	L	4,04E-02	4,96E+00	1,79E-02	1,18E-02	3,73E-04	9,96E-05
	gas scarica	m3	3,84E-02	3,65E+00	2,79E-03	1,76E-06	2,12E-04	2,34E-06
	Gas naturale	m3	4,03E-02	4,00E+00	3,38E-03	7,39E-04	2,23E-04	3,32E-06
Materiali da costruzione	Cemento	kg	4,88E-03	9,00E-01	1,80E-03	1,05E-03	3,20E-06	2,90E-05
	Calcestruzzo	kg	9,54E-04	1,71E-01	3,50E-04	2,10E-04	1,00E-05	1,00E-05
	Ghiaia, Sabbia, Argilla	kg	6,51E-05	3,40E-03	1,70E-05	1,50E-05	2,00E-06	2,10E-10
	HDPE	kg	7,21E-02	1,90E+00	3,20E-03	4,10E-03	6,40E-04	3,40E-06
	PVC	kg	5,12E-02	2,60E+00	4,80E-03	7,60E-03	1,20E-03	4,70E-04
	Acciaio inox	kg	2,79E-02	3,40E+00	7,50E-03	1,20E-02	4,40E-03	1,40E-04
	Acciaio	kg	1,02E-02	1,10E+00	1,40E-03	1,70E-03	5,60E-04	6,70E-05
	Altri materiali appartenenti a M&W1	kg	3,26E-02	1,98E+00	3,70E-03	5,30E-03	1,40E-03	1,40E-04
	Altri materiali appartenenti a M&W2	kg	6,51E-05	3,35E-03	1,70E-06	1,50E-05	2,00E-06	2,10E-10
Materiali di trattamento e prodotti chimici	Siero di latte	kg	5,81E-03	3,10E-02	6,20E-05	3,30E-05	2,00E-06	0,00E+00
	Olio vegetale emulsionato	kg	1,79E-02	3,44E+00	6,60E-03	1,90E-03	3,30E-05	0,00E+00
	Melassa	kg	1,02E-02	4,80E-01	1,10E-03	2,40E-04	4,10E-06	0,00E+00
	Materiali di trattamento e prodotti chimici	kg	3,49E-02	1,70E+00	3,00E-03	6,50E-03	6,10E-04	1,60E-05
	GAC vergine	kg	3,49E-02	8,50E+00	1,40E-02	3,40E-02	7,80E-04	1,20E-03
	Permanganato di potassio	kg		4,00E+00				
	Persolfato di sodio	kg		1,25E+00				
	Perossido di idrogeno	kg		1,20E+00				

	<p style="text-align: center;">LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p style="text-align: center;">LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p style="text-align: center;">Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 29 di 36</p>

Servizi Offsite	Acqua pubblica	m3	2,56E-06	2,39E+00	4,64E-03	2,82E-03	7,66E-03	7,18E-06
	Trattamento acque reflue	m3	4,18E-06	2,11E+00	7,66E-03	7,18E-03	0,00E+00	0,00E+00
	Smaltimento dei rifiuti solidi	t	1,86E-04	1,25E-02	7,00E-05	3,75E-05	2,00E-04	7,00E-06
	Smaltimento dei rifiuti pericolosi	t	2,09E-04	1,38E-02	7,70E-05	4,13E-05	2,20E-04	7,50E-07
	Analisi di laboratorio	€	7,56E-06	5,00E-04	2,40E-06	1,80E-06	2,00E-07	6,50E-08
energia elettrica	totale per	MWh	8,87E+00	4,55E+02	7,87E-01	3,11E+00	2,68E-02	5,10E-02

3. indicatori


Nella tabella seguente vengono riportati gli indicatori proposti da EPA per il calcolo della "environmental footprint".

n°	descrizione	unità misura
1	Consumo materie prime "raffinate"	t
2	Consumo materie prime da riciclo "mps"	t
3	Consumo materie prime grezze	t
4	Produzione rifiuti pericolosi	t
5	Produzione rifiuti non pericolosi	t
6	Consumo acqua da acquedotto	mc
7	Consumo acqua sotterranea	mc
8	Produzione acque di scarico	mc
9	Energia consumata	GJ
10	Emissioni in situ di NOx, SOx e PM10	kg
11	Emissioni in situ di inquinanti pericolosi (HAP)	kg
12	Emissioni complessive di NOx, SOx e PM10	kg
13	Emissioni complessive di inquinanti pericolosi (HAP)	kg
14	Emissioni complessive di CO2	t CO2 eq


La quantificazione degli indicatori da 1 a 8, viene eseguita direttamente da sommatorie ottenute a partire dai dati di progetto.

Il calcolo degli indicatori da 9 a 14, viene eseguita utilizzando i fattori di conversione. ed in particolare:

- la quantificazione degli indicatori relativi a emissioni in situ (n°10 e n°11), si ottiene dalla sommatoria dei combustibili consumati da macchine operatrici e/o gruppo elettrogeni attivi in sito;
- la quantificazione degli indicatori relativi a emissioni complessive (n°9, 12, 13, 14), si ottiene sommando il contributo di:
 - materie prime;
 - produzione rifiuti;

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 30 di 36</p>

- consumo di acqua da acquedotto;
- produzione acqua di scarico;
- gasolio consumato per spostamento personale e trasporto materiali;

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 31 di 36</p>

ALLEGATO 3: Livelli di Valutazione delle MTD

Livello 1

La comparazione tra le alternative per ogni aspetto è qualitativa, non ci sono conteggi o pesature tra i vari criteri. Il metodo è molto efficiente in presenza di un'alternativa chiaramente superiore alle altre. Il livello 1 non evidenzia la scala delle differenze.

Step:

- 1) impostare le tabelle alternative - criteri
- 2) interpretare i risultati
- 3) gestire incertezza

Tabella dei criteri

AMBIENTALI	opzione 1: Ossidazione In Situ	opzione 2: Scavo e smaltimento
materie prime	basso	nullo
rifiuti	basso	elevato
acqua utilizzata	medio	nullo
emissioni atmosfera	basso	medio

SOCIALI	opzione 1: Ossidazione In Situ	opzione 2: Scavo e smaltimento
polveri	nullo	elevato
odori	nullo	elevato
rumore	medio	medio
traffico	basso	elevato

ECONOMICI	opzione 1: Ossidazione In Situ	opzione 2: Scavo e smaltimento
Costi diretti	medio	elevato
Costi indiretti	elevato	basso

Interpretazione dei risultati e gestione dell'incertezza


L'interpretazione dei risultati si basa sulla comparazione qualitativa, contando positività, negatività e elementi indifferenti. Nel caso in cui non vi sia accordo sull'esito dei confronti, o i criteri risultino troppo generici e insufficienti, sarà necessario implementare l'analisi definendo criteri più specifici da valutare attraverso un approccio di livello 2-3.

Livello 2-3

Si utilizza l'analisi multicriterio (MCA), con funzione di valutazione a matrice "criteri-alternative". Questa tipologia di analisi, permette di valutare una molteplicità di aspetti utilizzando criteri con metriche sia qualitative (scale ordinali), sia quantitative (scale di rapporti).

Di seguito, si descrivono brevemente le fasi classiche di una analisi MCA, utilizzando dati di un caso di studio reale.

- A strutturare matrice criteri-alternative
- B assegnazione valori (scoring)

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 32 di 36</p>

- C analisi di dominanza
- D normalizzazione
- E ponderazione
- F ordinamento alternative (ranking)
- G analisi di sensitività

A strutturazione matrice

Consiste nella realizzazione della matrice "alternative-criteri".

Le alternative sono le colonne della matrice, mentre i criteri sono le righe.

vengono valutati n°3 scenari/alternative:

- ISCO (In Situ Chemical Oxidation);
- Ossidazione Biologica + Trattamento termico;
- Scavo e Smaltimento

mediante le seguenti 3 famiglie di criteri:

- ambientale
 - Consumo materie prime "refined"
 - Consumo materie prime da riciclo "mps"
 - Consumo materie prime grezze
 - Produzione rifiuti pericolosi
 - Produzione rifiuti non pericolosi
 - Consumo acqua da acquedotto
 - Consumo acqua sotterranea
 - Produzione acque di scarico
 - Energia consumata
 - Emissioni in situ di NOx, SOx e PM10
 - Emissioni in situ di inquinanti pericolosi (HAP)
 - Emissioni complessive di NOx, SOx e PM10
 - Emissioni totali di inquinanti pericolosi (HAP)
 - Emissioni complessive di CO2
- sociale
 - Traffico generato
 - Attività con potenziale aerodispersione polvere
 - Attività con potenziale diffusione odori
 - Attività potenziale impatto acustico >70 dBA al confine
 - Rimozione effettiva sostanze inquinanti
 - Ore uomo di esposizione lavoratori a sost. inquinanti
- economico
 - Costi diretti: attività di bonifica
 - Costi diretti: attività di monitoraggio

B assegnazione valori (scoring)

La matrice di valutazione, viene compilata assegnando ad ogni alternativa il valore di ogni criterio espresso con la relativa metrica.

La quantificazione dei criteri ambientali (es. emissioni di inquinanti, consumo di energia ecc..), può essere effettuata con il supporto di software predisposti a tale fine (es. Spreadsheets for

	<p style="text-align: center;">LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p style="text-align: center;">LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p style="text-align: center;">Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 33 di 36</p>

Environmental Footprint Analysis -SEFA, prodotto da U.S. EPA), o con fattori di conversione prodotti da fonti attendibili⁶.

Per ogni scenario di riferimento debbono comunque essere forniti i dati di input utilizzati per quantificare gli indicatori descritti nella tabella descritta al punto (...).

critero		ISCO	BIO+THERMAL	SCAVO SMALTIM.
Consumo materie prime "refined"	(t)	422	273	13744
Consumo materie prime da riciclo "mps"	(t)	0	100	120
Consumo materie prime grezze	(t)	1392	1523	6478
Produzione rifiuti pericolosi	(t)	2076	2468	2884
Produzione rifiuti non pericolosi	(t)	66418	66425	92498
Consumo acqua da acquedotto (m ³)		1878	866	0
Consumo acqua sotterranea (m ³)		1990	0	0
Produzione acque di scarico (m ³)		0	17520	18509
Energia consumata (GJ)		29724	11181	40782
Emissioni in situ di NOx, SOx e PM10 (GJ)		1816	3741	5327
Emissioni in situ di inquinanti pericolosi (HAP) (Kg)		0,05	46,8	0
Emissioni complessive di NOx, SOx e PM10 (Kg)		12446	23607	38710
Emissioni totali di inquinanti pericolosi (HAP) (Kg)		50	257	329
Emissioni complessive di CO2 (t CO ₂ eq)		19799	5077	9565
Traffico generato (Km)		4852496	484929	637810
Attività con potenziale aerodispersione polvere (ore)		2496	2502	4071
Attività con potenziale diffusione odori (ore)		243	248	785
Attività imp. acustico >70 dBA al confine (ore)		2874	2885	6557
Rimozione effettiva sostanze inquinanti trattati) (m ³ inquin.)		28067	37062	46299
Ore uomo di esposizione lavoratori a sost inq. (ore/uomo)		61	62	121
Costi diretti: attività di bonifica (euro)		8668	9213	11525
Costi diretti: attività di monitoraggio (euro)		193	216	161

C analisi di dominanza


Quest'analisi consente di eliminare dal processo decisionale quelle "eventuali" alternative progettuali che risultano dominate in senso paretiano; questa procedura consiste nel verificare se esiste qualche alternativa che per ogni criterio ha risultati peggiori rispetto a un' altra.

D standardizzazione/normalizzazione

Per confrontare criteri con metrica diversa occorre convertirli ad una stessa scala di valori. Ci sono diverse modalità per effettuare la normalizzazione, quella più semplice si basa sul valore massimo.

Per ogni criterio, si esegue il rapporto tra il valore assegnato ad ogni alternativa ed il valore massimo tra tutte le alternative.

⁶ La scrivente Agenzia può fornire una banca dati di fattori di conversione prodotti da EPA, convertiti con le grandezze del sistema metrico utilizzato in Italia.

	<p style="text-align: center;">LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p style="text-align: center;">LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p style="text-align: right;">Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 34 di 36</p>

Esempio:

	scenario 1	scenario 2	scenario 3	pesi
prod. rifiuti non peric. (t.)	23	10	48	0,14

	scenario 1	scenario 2	scenario 3	pesi
prod. rifiuti non peric. (t.)	23/48	10/48	48/48	0,14

	scenario 1	scenario 2	scenario 3	pesi
prod. rifiuti non peric. (t.)	0,48	0,21	1	0,14

Eseguendo questa operazione per tutti i criteri, otteniamo una matrice con valori compresi tra 0 e 1.

E ponderazione

La ponderazione è una fase molto importante, in quanto “pregiudica” l’ordinamento.

Definisce l’importanza relativa di un criterio rispetto agli altri, nel contesto del sito che si sta valutando.

Ci sono due famiglie di ponderazione:

- 1) diretta (tecniche di strutturazione dei giudizi come delphi, survey, brainstorming, focus group) che però hanno bisogno di strumenti che facciano decantare (sintetizzare anche in modo statistico) il contenuto informativo di ciò che si sta facendo.
- 2) Indiretta: sfrutta delle tecniche quali:
 - confronto a coppie (analisi gerarchica AHP). Si confronta un criterio con tutti gli altri (a coppie) e si cerca di individuare, secondo l’opinione dei vari stakeholders, quali sono le relazioni di importanza e dominanza tra un criterio e l’altro.
 - metodi numerici (di simulazione numerica). Valore atteso, viene generato il vettore dei pesi. Random, è analogo ma con un algoritmo diverso, così come Valore estremo. Questi tre metodi ci consentono, dato un ordinamento qualitativo, di ottenere dei pesi numerici (con diverse iterazioni, sulla base della ricorrenza di determinati ordinamenti calcola la percentuale, che diventa il peso attribuito).

Esempio:

In un sito inserito in un contesto residenziale il criterio: “emissione in situ di inquinanti pericolosi”, è probabilmente più importante del criterio “produzione di acque di scarico”, mentre in un’area industriale con impianto di depurazione che opera in condizioni critiche per mancanza di carico organico, potrebbe essere vero il contrario.

Ci sono varie modalità per definire il vettore dei pesi quali:

F ordinamento alternative (ranking)

Il valore di performance di ogni alternativa, si ottiene dalla somma dei valori normalizzati di ogni criterio, per il relativo peso.

Le alternative verranno quindi ordinate sulla base del valore di performance.

G analisi di sensitività

Si studia qual è l’elasticità dell’ordinamento al variare di alcuni input.

Nella maggioranza dei casi si verifica come varia l’ordinamento al variare dei pesi dei criteri, ma è uno strumento molto utile anche per analizzare come l’incertezza dei valori della nostra tavola degli effetti, possano in qualche caso influire sull’ordinamento.

Nel caso in cui ci siano due opzioni con performance “confrontabili”, può essere utile riesaminare l’assegnazione dei pesi e verificare l’incidenza dell’incertezza nella stima dei valori attribuiti.

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 35 di 36</p>

Allegato 4: check-list

Introduzione

Scopo del presente allegato è fornire un "indice" dei contenuti da inserire nel documento progettuale di valutazione delle migliori tecnologie di intervento.

Coerentemente con quanto descritto nella metodologia di valutazione, si ritiene utile che il contenuto informativo relativo ad ogni fase, venga descritto in una sezione del documento, che deve essere, per una più agile comprensione, "self-standing".

1. Fase 1 - Conoscenza preliminare


- a. Modello Concettuale del Sito
 - i. analisi storica sorgenti primarie di contaminazione
 - ii. descrizione di ogni sorgente secondaria rilevata
 1. contaminanti presenti;
 2. in quale fase (adsorbita/libera), sono stati rilevati;
 3. litologia degli strati della sorgente secondaria e livello di saturazione;
 4. stima della massa di contaminante presente nel sito.
- b. Vincoli sito specifici
 - i. logistici
 1. disponibilità area cantiere
 2. disponibilità corpi idrici recettori (acque superficiali/fognatura)
 - ii. descrizione delle strutture interrato e sottoservizi
 1. tipologia, ubicazione e profondità;

2. Fase 2 - Tecnologie applicabili

- a. Meccanismi d'azione applicabili al trattamento delle aree sorgente descritte al punto 1.a.ii .
 - i. per ogni tipologia di meccanismo d'azione individuata (fisico, chimica, biologica) indicare, per ogni contaminante, il range di concentrazione applicabile (es. ISCO su PCE > 9000 a << 150000).
 - ii. per ogni meccanismo d'azione individuare i vincoli descritti ai punti 1.b (es. presenza cavidotto non compatibile con reagenti molto aggressivi, quali persolfato di sodio).

3. Fase 3 - Scenari di intervento

- a. Combinazioni di meccanismi d'azione (eventualmente implementati in singole tecnologie), applicabili ad ogni sorgente secondaria (combinazione temporale);
- b. Descrizione scenari di intervento a diversa "intensità" e di conseguenza con diversa proporzione tra interventi di tipo "attivo" (più energivori e aggressivi) e "passivo" (tempi più lunghi e bassa impronta/impatto ambientale), dove vengono programmati interventi su tutte le sorgenti rilevate (combinazione spazio-temporale).

	<p>LINEA GUIDA DELLA DIREZIONE TECNICA</p>	<p>LG44/DT</p>
<p><i>Metodologia per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT) di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati</i></p>		<p>Revisione 0 del 01/03/2020 Pag 36 di 36</p>

4. Fase 4 - Criteri di selezione migliore tecnologie (MTD/BAT)

- a. descrizione del contesto socio-ambientale ed eventuali problematiche relative a problemi economico/finanziari.
 - i. rilevante sensibilità sociale (eventuale pressione di cittadinanza organizzata in comitati);
 - ii. presenza di risorse ambientali di particolare pregio;
 - iii. documentata fragilità economica/finanziaria
- b. elenco criteri (vedi esempio tab. 2 paragrafo 5.4.1), per tradurre obiettivi
- c. ordinamento delle alternative e individuazione MTD