

TECNOLOGIE E COSTI DELLE BONIFICHE SEDIMENTI

Michele Fratini

ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Indice

1. Introduzione
2. Criteri generali alla base degli interventi di bonifica
3. MNR
4. Capping
5. Trattamenti in situ
6. Dragaggio e scavo
7. Trattamenti ex situ
8. Costi

Introduzione

- I sedimenti rappresentano una matrice ambientale estremamente complessa, con modalità di formazione, caratteristiche chimico fisiche e tipologie di contaminazione estremamente variabili
- Problematica recente $\bar{\text{O}}$ in Europa e in particolare nel nostro Paese non sono state ancora emanate norme per la gestione
- Limitati interventi, ricerche e risorse investite

La presentazione illustra una panoramica delle tecnologie per la bonifica dei sedimenti contaminati fluviali e lacuali, prendendo come spunto l'approccio proposto dall'Agenzia ambientale degli Stati Uniti



Contaminated Sediment Remediation, Guidance for Hazardous Waste Site, 540-R-05-012 Office of Solid Waste and Emergency Response OSWER 9355.0-85

Tecnologie di bonifica: applicazioni negli USA

Dati USEPA 2005 siti Superfund Sediment su 60 siti/98 subaree

1. Circa $\frac{1}{2}$ delle subaree sono fiumi e circa $\frac{1}{3}$ sono wetlands
2. I contaminanti di principali in termini di rischio sono
 - PCB in circa $\frac{1}{2}$ delle subaree
 - metalli in $\frac{1}{3}$ delle subaree
 - IPA in $\frac{1}{5}$ delle subaree
3. Il rischio ecologico determina la necessità di procedere alla bonifica in circa $\frac{1}{5}$ delle aree e contribuisce a determinare gli obiettivi di bonifica in $\frac{3}{4}$ delle aree
4. In 30 siti il dragaggio o lo scavo sono stati l'unico intervento, mentre in $\frac{1}{3}$ al dragaggio è stato affiancato il capping o il MNR. Capping e MNR, come unico intervento, è stato applicato in meno del 10% dei siti
5. In circa $\frac{1}{2}$ delle aree, il volume di sedimenti rimossi è inferiore a 40.000 m³, mentre nel 10% è superiore a 800.000 m³
6. Il numero di aree dragate è circa uguale a quello delle aree in cui è stato applicata l'escavazione; in circa $\frac{1}{2}$ di queste aree è stato realizzato un parziale ripristino con strati di sabbia
7. L'estensione delle coperture varia tra meno di 0.4 ha e 170 ha, la maggior parte sono comprese tra 4 e 28 ha

<http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/sediment/data.htm>

Bonifiche di sedimenti: applicazioni in Italia

SIN con problematiche sedimenti	Regione	Anno decreto perimetrazione	Stato Attuazione Interventi
Venezia (Porto Marghera)	Veneto	1998	messa in sicurezza, bonifica, ricerca
Cengio e Saliceto - Fiume Bormida	Liguria-Piemonte	1998	monitoraggio/ricerca
Litorale Domizio Flegreo ed Agro Aversano - Regi Lagni	Campania	1998	caratterizzazione
Pieve Vergonte - Toce. L. Maggiore, L. Mergozzo, T. Marmazza	Piemonte	1998	caratterizzazione
Fiumi Saline e Aliento	Abruzzo	2001	caratterizzazione
Laguna di Grado e Marano	Friuli-Venezia Giulia	2001	caratterizzazione, ricerca, prove pilota
Cogoleto – Stoppani - T. Lerone	Liguria	2001	caratterizzazione
Basso bacino del Fiume Chienti	Marche	2001	caratterizzazione
Sulcis – Iglesiente – Guspinese - corsi d'acqua aree minerarie	Sardegna	2001	caratterizzazione
Trento nord - rogge	Provincia autonoma Trento	2001	caratterizzazione
Brescia – Caffaro - rogge	Lombardia	2002	caratterizzazione
Laghi di Mantova e Polo Chimico	Lombardia	2002	caratterizzazione
Orbetello - laguna	Toscana	2002	caratterizzazione
Area industriale della Val Basento	Basilicata	2002	caratterizzazione
Bacino idrografico del Fiume Sacco	Lazio	2005	caratterizzazione
Bacino idrografico del Fiume Sarno	Campania	2005	Caratterizzazione/ipilota
Bussi sul Tirino	Abruzzo	2008	caratterizzazione

Obiettivi degli interventi di bonifica

Perché bonificare e quanto bonificare?

Ridurre permanentemente e significativamente la concentrazione e/o la mobilità delle sostanze inquinanti

○ definire i valori delle concentrazioni residue accettabili per ogni sito in modo da garantire la protezione della salute pubblica e dell'ambiente circostante, anche in funzione dei possibili cambiamenti delle principali caratteristiche ambientali e territoriali, indotti dalla metodologia di recupero

Proposta per la valutazione dello stato qualitativo dei sedimenti fluviali nel sito di interesse nazionale Fiumi Saline ed Alento: Livelli Chimici di Riferimento (LCR): non direttamente correlabili con l'ecotossicità del sedimento

○ approfondimento chimico analitico

○ approfondimento tossicologico

○ analisi di rischio ecologico = dati chimici + ecotossicologici + ecologici

○ concentrazione residua = fondo naturale/antropico?

Criteri generali alla base degli interventi di bonifica

La selezione delle alternative di intervento è un processo che dipende da:

- volume di sedimenti da trattare
- caratteristiche dei sedimenti
 - **FISICHE** - granulometria e caratteristiche mineralogiche, presenza di sostanza organica
 - **CHIMICHE** - Ph, Condizioni ossido-riducenti
- tipologia di contaminazione - deve tener conto degli inquinanti presenti e dell'efficacia di ciascuna tecnologia nel distruggerli, rimuoverli o immobilizzarli



presenza di materiali fini rende più difficile il trattamento, il contaminante è fortemente "legato" alle particelle (elevato contenuto di SO e argille)



un ridotto contenuto in solidi rende i sedimenti più difficili da trattare

Criteri generali alla base degli interventi di bonifica

- requisiti normativi ???
- problemi realizzativi - necessità di spazi, stoccaggio provvisorio, trattamento delle acque reflue, controllo delle emissioni gassose,...
- tempi necessari per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica
- aspetti correlati a fattori sociali ed economici, es. destinazione dell'area (migliorare la condizione di navigazione in un'area con profondità non sufficienti...)
- costi
- integrazione e armonizzazione con ambiente e comunità

Criteri generali alla base degli interventi di bonifica

ISPRA
Matrice di screening delle tecnologie di bonifica

Molte tecnologie di bonifica dei sedimenti sono derivate da quelle utilizzate per il trattamento dei terreni contaminati (modificate per tener conto delle caratteristiche dei sedimenti es. presenza di sostanza organica, contenuto d'acqua elevato ecc.)

Composti Inorganici						Composti Organici																	
Arsenico	Cadmio	Cromo	Piombo	Mercurio	Zinco	Altri metalli e composti inorganici	Idrocarburi Aromatici	Idrocarburi Policiclici Aromatici	Idrocarburi Alifatici clorurati cancerogeni	Idrocarburi Alifatici clorurati non cancer.	Idrocarburi Alifatici alchenali cancer.	Mitobenzoni	Dibenzoni	Fenoli non clorurati	Fenoli clorurati	Ammine aromatiche	Fitofarmaci	Diossine e furani	Tempi	Necessità di manutenzione/monitoraggio a lungo termine	Impatto a breve e lungo termine sulle risorse naturali	Applicabilità e limiti	Casi Studio

Suolo, sedimenti																								
- trattamento biologico in situ																								
- Bioventing	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Bioremediation	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX	YY	ZZ
- Phytoremediation	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX	YY	ZZ
- trattamento chimico-fisico in situ																								
- Ossidazione chimica	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Ossidazione elettrochimica	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Separazione elettrolitica	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Soil Flushing	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Soil Vapour Extraction	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Solidificazione/stabilizzazione	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- trattamento termico in situ																								
- Trattamento termico	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- trattamento biologico ex situ (con escavazione)																								
- Diglie	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Compostaggio	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Landfarming	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Rivegetazione	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- trattamento chimico-fisico ex situ (con escavazione)																								
- Estrazione chimica	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Ossidazione/riduzione chimica	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Soil washing	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Solidificazione/stabilizzazione	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- trattamento termico ex situ (con escavazione)																								
- Inaseneramento/Pirólisi	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Inaseneramento termico	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- altro																								
- Copertura superficiale (Capping)	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX
- Scarico e smaltimento in discarica	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	VV	WW	XX

Giudizio	AA = Alto
Contaminanti volatili	Difficile decontaminare
Tempi	Meno di 1 anno
	Meno di 1-3 anni
	Meno di 3 anni
Necessità di manutenzione/manutenzione a lungo termine	Necessità di un alto grado di manutenzione
Impatto a breve e lungo termine sulle risorse naturali	Bassi impatti sulle risorse naturali/alta sostenibilità
BB = Medio	CC = Basso
Limitata efficienza	Efficienza non dimostrata
Da 1 a 3 anni	Oltre 3 anni
Da 3 a 5 anni	Oltre 5 anni
Da 5 a 10 anni	Oltre 10 anni
Necessità di un medio grado di manutenzione	Necessità di un alto grado di manutenzione
Medi impatti sulle risorse naturali/alta sostenibilità	Alti impatti sulle risorse naturali/bassa sostenibilità

● = il livello di efficienza dipende dallo specifico contaminante, dalle condizioni sito specifiche e dalla progettazione

Alternative di intervento

Attività di recupero può combinare diverse metodologie:

- aree con diverso grado di contaminazione
 - ➔ • realizzazione di dragaggio e scavo nei settori identificati come più pericolosi, MNR nelle aree in cui il livello della contaminazione è più basso

- aree caratterizzate da tassi diversi di sedimentazione
 - ➔ • capping aree a tasso di sedimentazione basso, MNR nelle porzioni di sito a maggior tasso di deposizione (es. lato sotto corrente di un meandro)



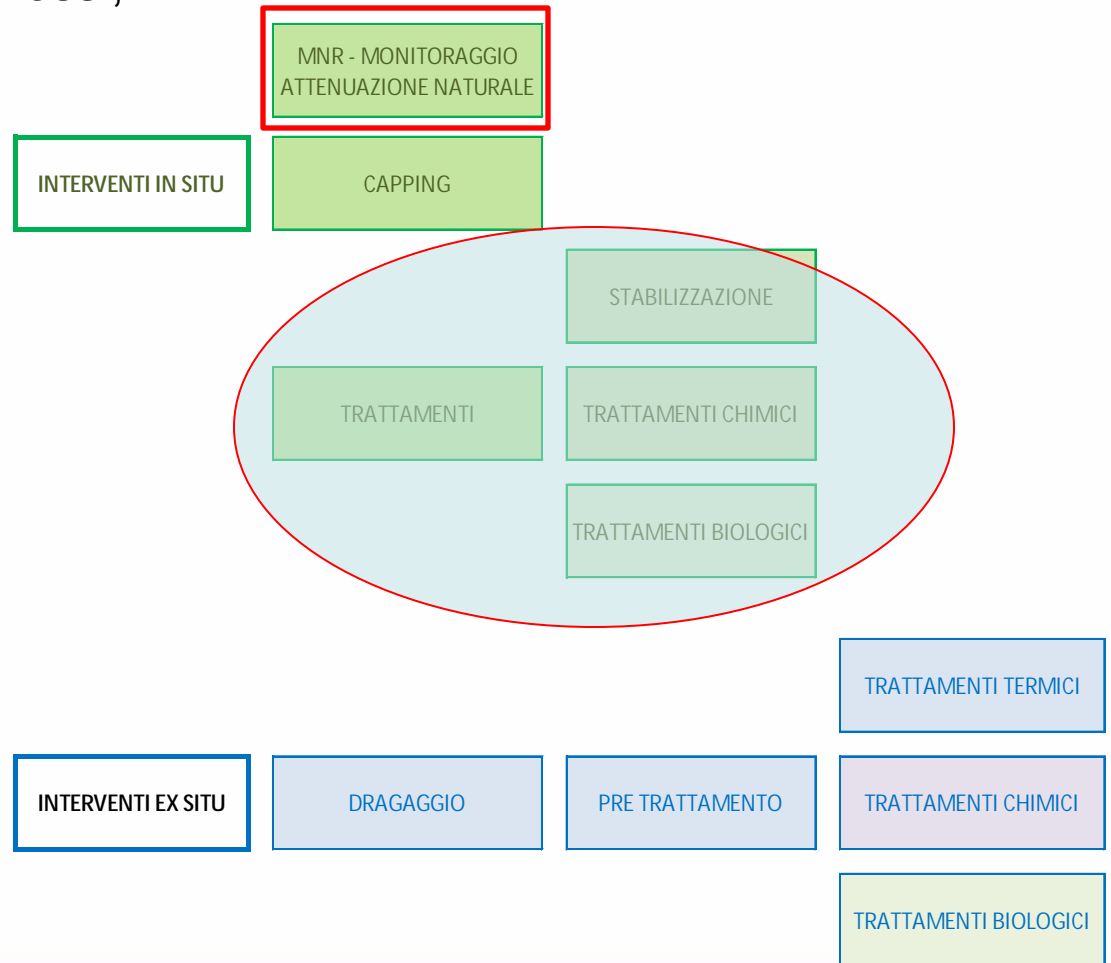
Da: Elena Romano – ISPRA: Il sito di interesse nazionale di Coroglio Bagnoli: dalla caratterizzazione ambientale al progetto di bonifica



Alternative di intervento

I sistemi di trattamento applicati per la bonifica dei sedimenti contaminati sono generalmente distinti, a seconda che il trattamento avvenga senza rimozione dei materiali oppure dopo averli rimossi, in:

- Interventi in situ
- Interventi ex situ





Monitoraggio del recupero naturale (MNR)

MNR è simile a Monitoraggio dell'Attenuazione Naturale (MNA) (U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA 1999d) – applicato per acque sotterranee

Si basa sullo sviluppo di processi spontanei che hanno l'effetto di contenere, ridurre o eliminare la biodisponibilità o la tossicità dei contaminanti nei sedimenti

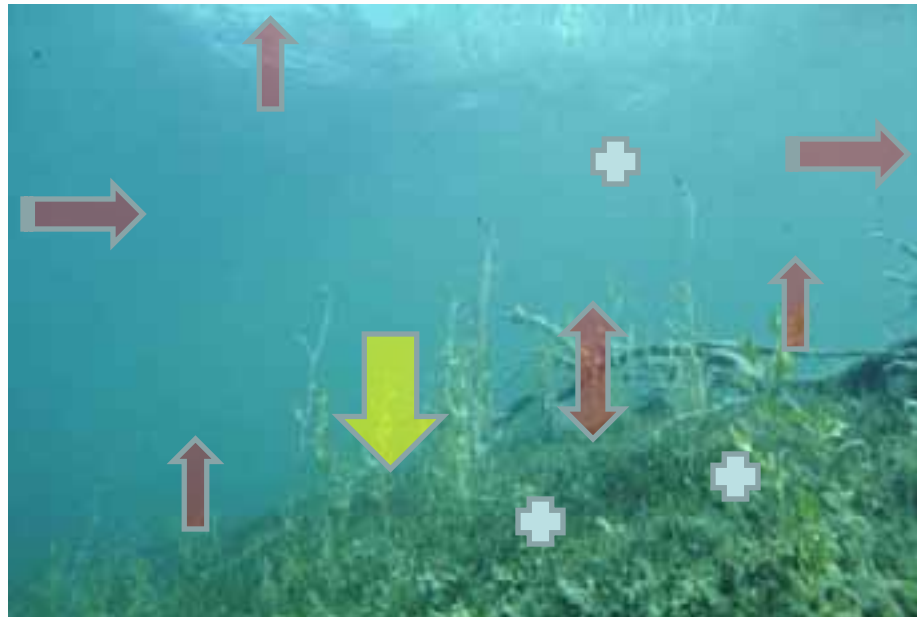
Generalmente i processi naturali portano nel tempo ad una riduzione del rischio

MNR \rightarrow acquisizione di informazioni nel corso del tempo per confermare che tali processi di riduzione del rischio si stiano effettivamente verificando

Monitoraggio del recupero naturale (MNR)

Processi di recupero naturale per siti con sedimenti contaminati

- processi fisici: sedimentazione, advezione, diffusione, diluizione, dispersione, bioturbazione, volatilizzazione
- processi biologici: biodegradazione, biotrasformazione, fitorisanamento, stabilizzazione biologica
- processi chimici: ossido-riduzione, adsorbimento o altri processi derivanti da stabilizzazione o diminuzione della biodisponibilità



Monitoraggio del recupero naturale (MNR)

Processi di recupero naturale per siti con sedimenti contaminati

- Documentazione che attesti la rimozione delle sorgenti primarie
- Evidenze dei processi di sedimentazione (sedimenti puliti al di sopra di quelli contaminati)
- Misure dello spessore dello strato di mixing per valutare lo strato “attivo” (in cui avvengono gli scambi bentici) di sedimenti e quindi la profondità a cui il processo di bonifica deve arrivare
- Misure della stabilità dei sedimenti per valutare il rischio di risospensione e diffusione della contaminazione
- dati chimici, ecologici e ecotossicologici
- Modellazione a lungo termine del recupero che comprenda i comparti acque superficiali, sedimenti e biota
- Pianificazione sui future utilizzi del sito

Nel 2005, anno di pubblicazione della linea guida dell'USEPA, MNR selezionato come intervento di bonifica in circa una dozzina di siti Superfund. In numerosi siti c'è stata una combinazione di MNR con il dragaggio o il capping di alcune porzioni del sito di interesse.

Monitoraggio del recupero naturale (MNR)

Processi di recupero naturale per siti con sedimenti contaminati

A	i contaminanti sono trasformati in forma meno tossica per mezzo di processi di trasformazione, quali ad esempio la biodegradazione o le trasformazioni abiotiche
B	la mobilità dei contaminanti e la biodisponibilità vengono ridotte tramite adsorbimento o altri processi che legano i contaminanti alla matrice solida dei sedimenti
C	Azioni sui livelli di esposizione riducendo la concentrazione dei contaminanti negli strati più superficiali tramite copertura/mixing con sedimenti puliti
D	L'esposizione diminuisce a causa della riduzione della concentrazione di contaminanti negli strati più superficiali per dispersione dei contaminanti nella colonna d'acqua (dispersione dei contaminanti legati alle particelle, diffusione, advezione)

Monitoraggio del recupero naturale (MNR)

Vantaggi potenziali e limitazioni

PRINCIPALI VANTAGGI:

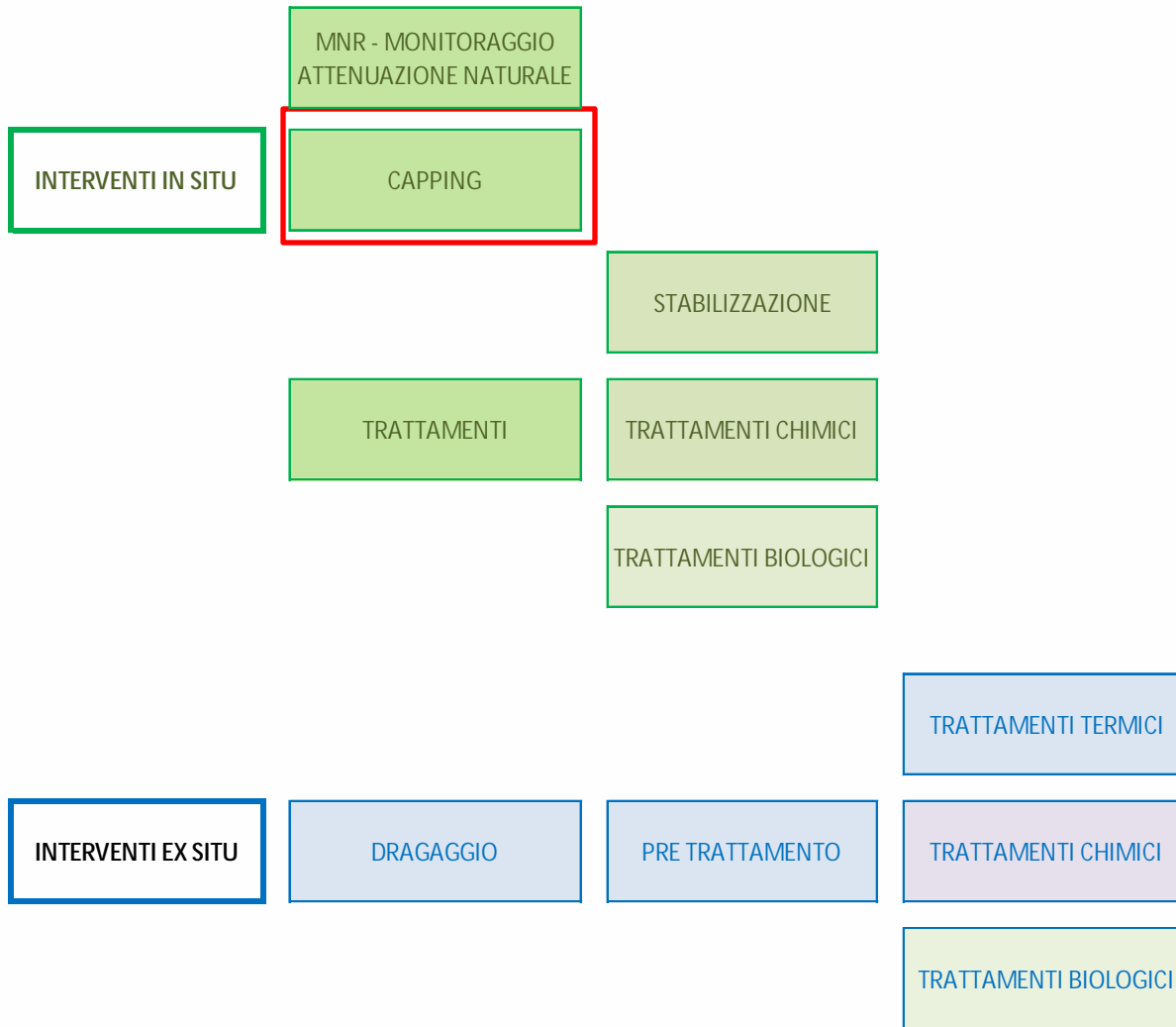
1. costi di implementazione relativamente bassi associati
 - caratterizzazione del sito
 - elaborazione di un modello concettuale (implementazione di modelli matematici)
 - monitoraggio
 - contributo per l'esecuzione dei controlli da parte degli enti istituzionali
 - programmi di comunicazione e sensibilizzazione del pubblico
2. natura non invasiva
3. non implica impatti sulla comunità biologica esistente
4. non necessita realizzazione di costruzioni, infrastrutture, trasporto

PRINCIPALI LIMITAZIONI:

1. i contaminanti sono lasciati in posto
2. rischio di ri-esposizione ai contaminanti sia a seguito di eventi ad alta energia, sia per cause naturali o antropiche, soprattutto se basato sull'interramento naturale
3. rischio di trasporto dei contaminanti disciolti verso le acque superficiali fino a livelli tali da causare un rischio inaccettabile
4. il processo di riduzione del rischio potrebbe essere lento



Alternative di intervento



Capping

Capping: posizionamento di una copertura di materiale pulito al di sopra dei sedimenti contaminati



Tipologia di coperture:

- Semplici: costituite da materiale granulare, come sedimenti puliti, sabbia o ghiaia
- Complesse: strati multipli costituiti da geotessili, liners ed altri materiali permeabili o impermeabili, eventualmente coperti/addittivati con altri materiali utili alla bonifica (ad es. carboni attivi, materiale organico)

CAPPING AD UNO STRATO



CAPPING COMPOSITO



CAPPING MULTISTRATO



Capping

FUNZIONI DELLA COPERTURA

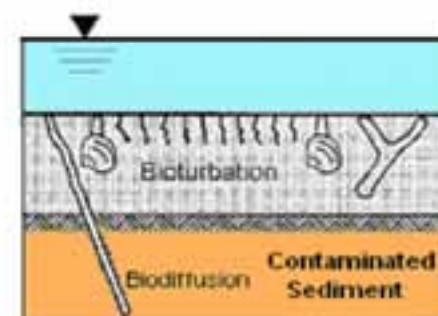
• Isolamento fisico dei sedimenti contaminati

- riduce l'esposizione dovuta al contatto diretto
- riduce la capacità degli organismi che operano bioturbazioni di spostare i contaminanti verso la superficie

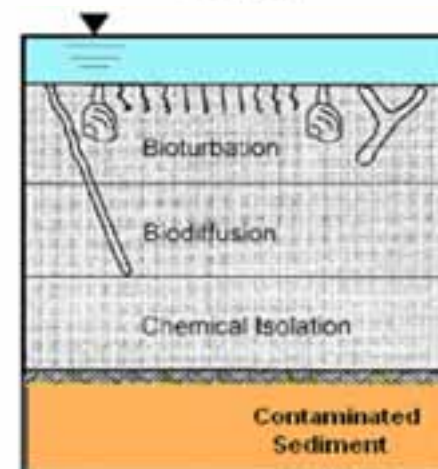
• Stabilizzazione dei sedimenti contaminati e protezione dall'erosione dei sedimenti

- riduce la risospensione e il trasporto

Possibili varianti del capping comprendono l'applicazione di una copertura a seguito di una rimozione parziale dei sedimenti contaminati oppure l'impiego di coperture innovative che incorporano sistemi di trattamento



THIN CAP



ISOLATION CAP

Capping

Vantaggi potenziali e limitazioni

PRINCIPALI VANTAGGI:

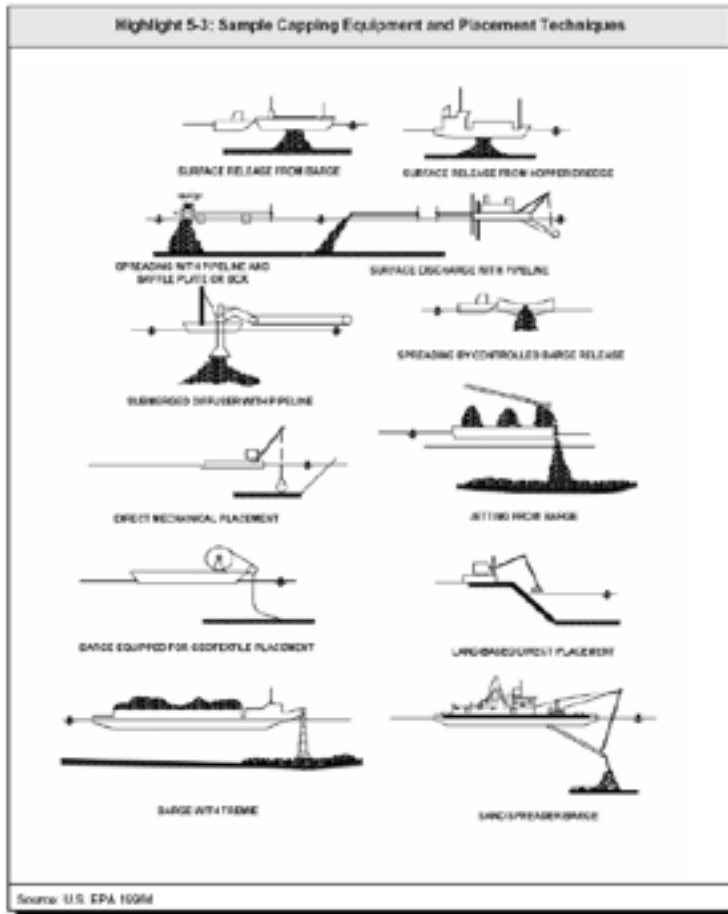
1. tempi rapidi di riduzione dell'esposizione ai contaminanti
2. scarsa minore necessita di infrastrutture in termini di gestione del materiale
3. minimo rischio di risospensione dei sedimenti
4. riduzione dei rischi associati al trasporto e allo smaltimento di sedimenti contaminati
5. impatto più contenuto sulle comunità locali
6. se i materiali di copertura sono disponibili in sito, costi contenuti

PRINCIPALI LIMITAZIONI:

1. permanenza dei sedimenti contaminati nell'ambiente acquatico
2. Possibile risospensione di sedimenti contaminati in fase di messa in opera
3. Limitazioni all'uso del sito (riduzione della profondità, limitazioni alla navigazione, ancoraggio, posa di infrastrutture sommerse...)
4. Modifiche dell'habitat e conseguente possibile condizioni non favorevoli allo sviluppo della comunità biologica

Capping

Modalità di messa in opera



Applicazione lenta e uniforme, tale da permettere l'accumulo del materiale di copertura in strati, così da evitare la dispersione o il mescolamento con i sedimenti contaminati sottostanti

Posa in opera meccanica (ad es. benne mordenti o draghe): materiali provenienti da cave hanno un contenuto d'acqua basso. possono essere maneggiati allo stato secco. Deposito per effetto della gravità ρ applicazione limitata dalla profondità.

Posa in opera idraulica: il materiale, allo stato di fango, è scaricato per mezzo di condotte

Il posizionamento di alcuni componenti di copertura, quali geotessili, richiede l'utilizzo di macchinari specifici

Capping

Modalità di messa in opera



nastro trasportatore



chiatta con gru. Da EPA/540/R-07/008

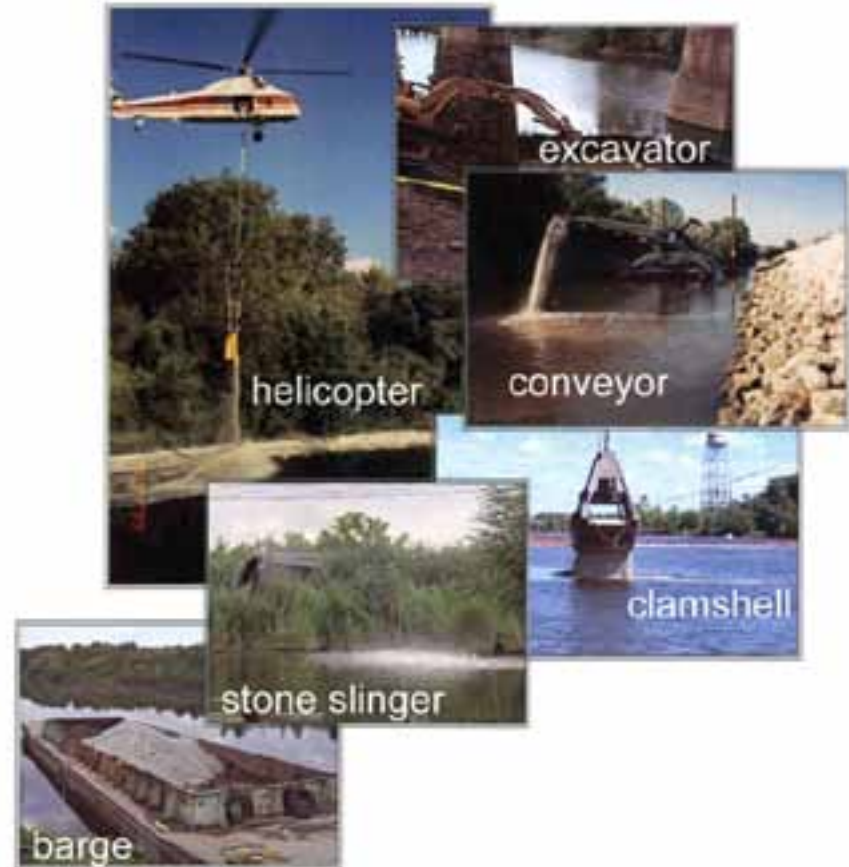


immagine da <http://www.adventusgroup.com/products/aquablok.shtml>

Capping

Modalità di messa in opera

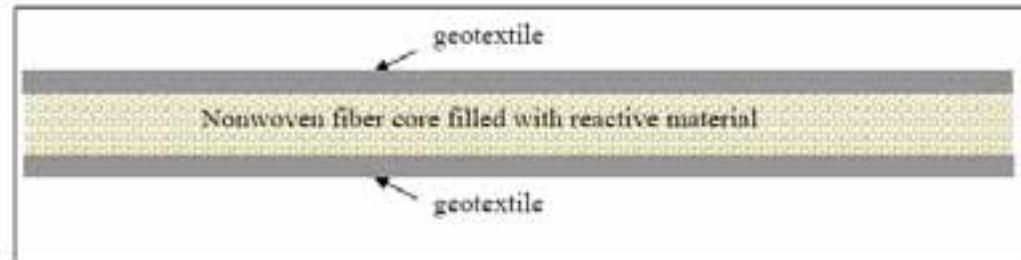


FIGURE 3. Cross section of laminated reactive mat.



I materassini di materiale reattivo sono caricati sulla chiatta



I materassini vengono svolti



La chiatta si sposta per la posa del materassino successivo

Capping

Implementazione della tecnologia



IL GEOTESSILE "AMMENDATO"
CON I CARBONI ATTIVI VIENE
CARICATO CON LA GRU



LA GRU DEPOSITA IL GEOTESSILE NEL LETTO DEL FIUME E QUINDI
VIENE SVOLTO SUI SEDIMENTI CONTAMINATI

Per migliorare l'efficacia:

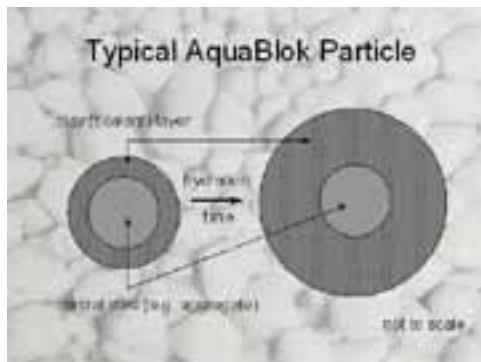
- aggiunta di additivi (es. carboni attivi, Fe zero valente...) al fine di sfruttarne le proprietà adsorbenti oppure
- materiali alternativi per diminuire la permeabilità del capping

Capping

Implementazione della tecnologia: Permeable Reactive Barrier

Materiali alternativi alla sabbia :

- organoclay, argille trattate al fine di renderle idrofobiche. Sono eccellenti adsorbenti di petrolio, agenti tensioattivi e solventi
- Aquablok®, argille idrofiliche



EPA ha valutato l'efficacia del capping di sedimenti contaminati da PCB, IPA e metalli pesanti, utilizzando AquaBlok®. I risultati dello studio (monitoraggio di tre anni) hanno evidenziato la maggiore stabilità e migliore impermeabilizzazione del sistema AquaBlok® rispetto al capping realizzato con materiali tradizionali (sabbia). Lo studio ha inoltre evidenziato che l'effetto sull'habitat e sugli organismi è simile a quello dei capping tradizionali. (da: U.S. EPA Releases SITE Evaluation Report – Demonstration of the AquaBlok® Sediment Capping Technology)

Capping

Monitoraggio dell'efficacia

L'obiettivo di una copertura in situ è isolare fisicamente e chimicamente e di stabilizzare i sedimenti contaminati in modo da ridurre l'esposizione e quindi il rischio. I parametri da monitorare:

- la diminuzione della tossicità e le concentrazioni di contaminanti nell'acqua e nel biota
- l'erosione o altri effetti fisici sulla copertura
- il flusso di contaminanti attraverso il materiale di copertura e quindi nella colonna d'acqua sovrastante (fenomeni di advezione o diffusione molecolare)
- ricolonizzazione della superficie della copertura e conseguente bioturbazione

il monitoraggio fisico ha una cadenza più frequente rispetto al monitoraggio chimico o biologico in quanto meno costoso

Per prevedere la performance della copertura sono disponibili modelli analitici e numerici, che dovranno essere supportati e validati con test di laboratorio e analisi di campo. La misurazione fisica dell'integrità della copertura e le analisi chimiche su campioni di acqua possono essere sufficienti per il monitoraggio ordinario

Capping

“Benchmarking” capping

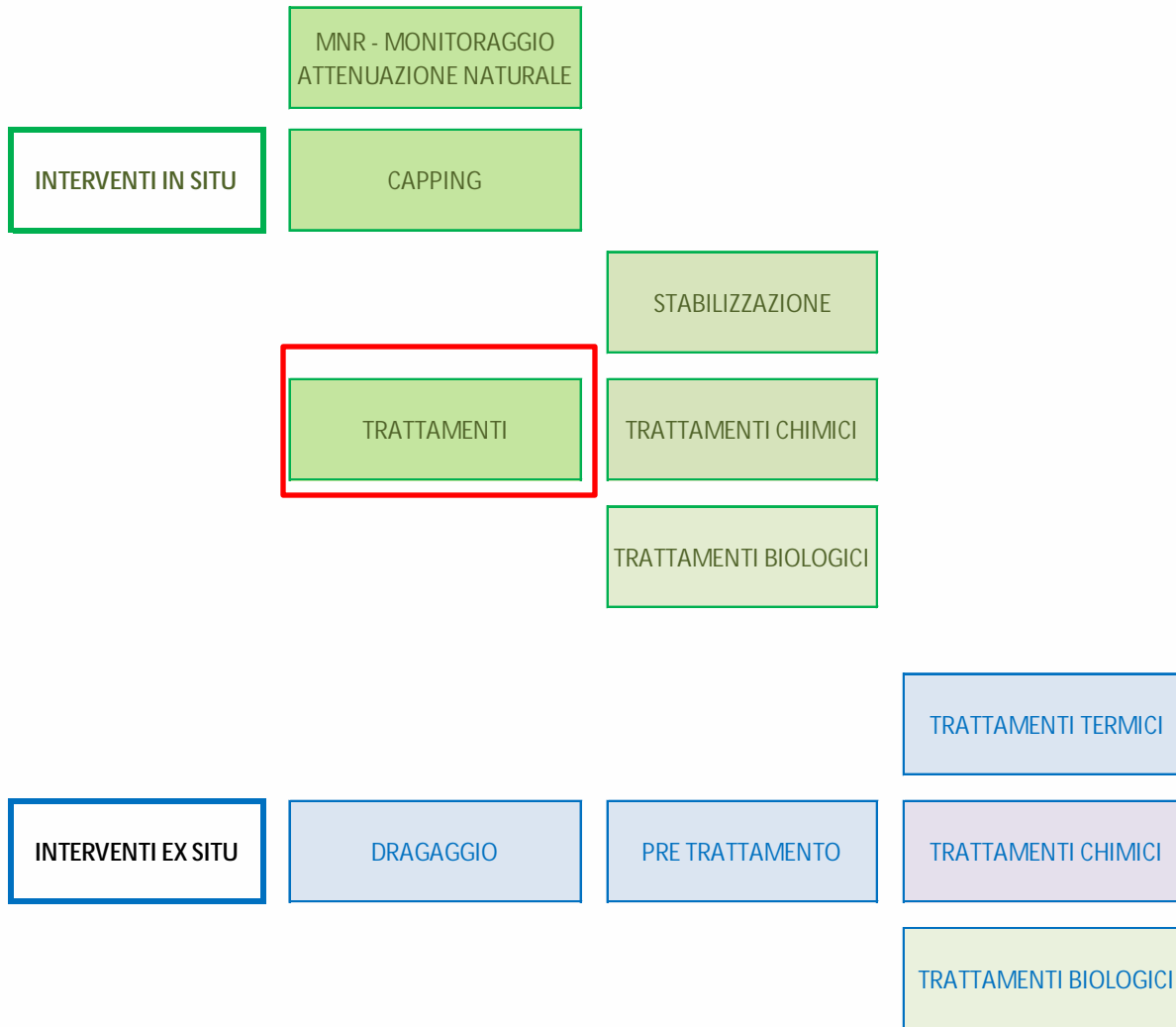
Dati USEPA 2004

	comprensione delle problematiche fisico/chimiche connesse	ricerca a scala di laboratorio	dimostrazione a scala pilota	dimostrazione full scale	ostacoli all'applicazione
capping passivo	buono	sufficiente	sufficiente	sufficiente	bassa: rischio percepito connesso al fatto che i contaminanti non sono rimossi
capping attivo	scarso	non sufficiente	un unico caso in fase di valutazione	nessuna	significativo: lacune nelle conoscenze di base, opzioni tecnologiche, dimostrazioni

<http://docs.serdp-estcp.org/viewfile.cfm?Doc=SedimentsFinalReport%2Epdf>



Alternative di intervento



Trattamenti in situ

...secondo l'USEPA ancora in fase di sviluppo - sono in corso numerose applicazioni pilota.

Molte tecnologie presentano limiti tuttavia i risultati dei test in corso dimostrano l'applicabilità di alcuni di questi approcci

Trattamenti biologici – favoriscono la degradazione dei contaminanti ad opera dei microrganismi presenti mediante la somministrazione di sostanze (ossigeno, nutrienti) direttamente nei sedimenti o nel capping (copertura reattiva)

Trattamenti chimici – producono la distruzione dei contaminanti ad opera di composti chimici

solidificazione/stabilizzazione: incapsulano i contaminati mediante l'aggiunta di sostanze (cemento o altri additivi) per renderli non disponibili (immobili)



Trattamenti in situ

Trattamenti biologici in situ

Bioremediation sfrutta i processi naturali per incrementare l'attività dei microorganismi necessaria per convertire i contaminanti in prodotti finali non tossici

Aerobica: è un processo metabolico con produzione di energia in cui l'accettore terminale di elettroni è l'ossigeno molecolare (affinché la reazione avvenga deve essere presente ossigeno libero), ed i prodotti finali risultano CO_2 e acqua.

Anaerobica: è un processo metabolico con produzione di energia in cui l'accettore terminale di elettroni è un solfato, un nitrato, la CO_2 , i tipici prodotti finali sono metano, solfuri e acidi organici.

Bioagumentation Immissione di microorganismi (batteri) per degradare gli inquinanti presenti nei sedimenti. Pochi progetti per lo più a scala pilota



http://www.serdp-estcp.org/Symposium2008/Sessions/upload/4B_Luthy.htm

Trattamenti in situ

Trattamenti chimici in situ

comprendono:

- neutralizzazione
- precipitazione
- ossidazione
- dealogenazione chimica

Potenziale impatto secondario legato a:

- diretta tossicità dei reagenti
- potenziale tossicità dei prodotti di degradazione

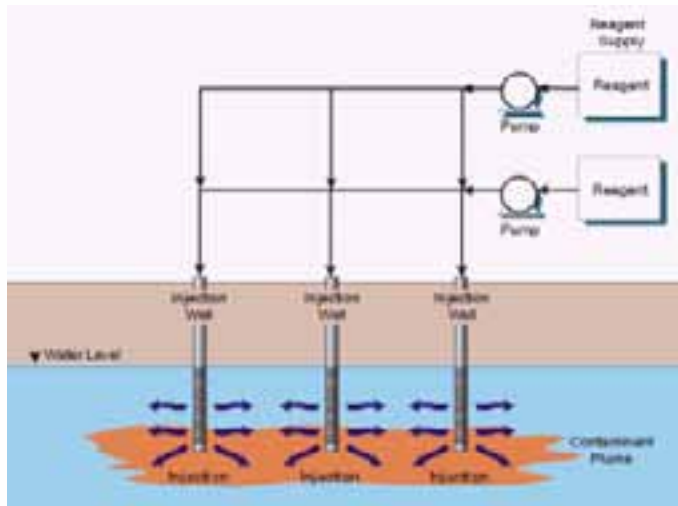
L'approccio a tutti i trattamenti chimici in situ è lo stesso e si sviluppa nei seguenti passaggi:

- analisi del luogo per determinare sorgenti, natura ed estensione della contaminazione
- prove a scala pilota per determinare il tipo, la concentrazione, le quantità di agente chimico
- verifica e controllo delle prestazioni di trattamento
- esecuzione su scala reale

Trattamenti in situ

Trattamenti chimici in situ: ossidazione chimica

Immissione di composti chimici (agenti ossidanti) per distruggere gli inquinanti presenti nel suolo/sedimenti



Perossido di idrogeno H_2O_2

Reattivo di Fenton $Fe^{2++} H_2O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3++} H_2O + \bullet OH$

Permanaganto $KMnO_4$ o $NaMnO_4$

Ozono O_3

https://portal.navfac.navy.mil/portal/page/portal/navfac/navfac_ww_pp/navfac_nfac_esc_pp/environmental/erb/choxorgin

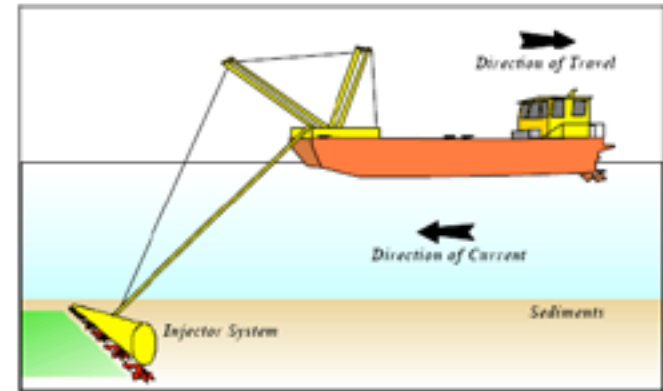
I composti inquinanti sono decomposti fino ad anidride carbonica (CO_2) ed acqua (H_2O) (ossidazione completa)

Trattamenti in situ

Trattamenti chimici: implementazione della tecnologia

L'immissione dei reagenti ossidanti può avvenire in diversi modi a seconda del loro stato fisico:

- aerazione superficiale nel caso di aria;
- aerazione per insufflazione nel caso di aria, ossigeno puro o ozono;
- iniezione diretta nel caso di perossido di idrogeno o di reagenti in soluzione;
- aggiunta in forma granulare nei sedimenti, nel caso di composti solidi (ORC® o simili).



aeratore superficiale

favorisce l'ossigenazione dei sedimenti attraverso la colonna dell'acqua

limitazioni:

- Possibilità di risospensione dei sedimenti
- Aerazione localizzata del sedimento sotto l'aeratore
- Incremento della fioritura algale

Trattamenti in situ

Trattamenti chimici: limiti della tecnologia

- sono limitati a situazioni in cui l'area oggetto di trattamento può essere
- confinata;
- è difficile ottenere una completa ed omogenea miscelazione fra reagenti e contaminanti;
- l'ossidazione di sedimenti contenenti Cr, Hg e Pb può convertire questi metalli in forme molto tossiche;
- la neutralizzazione di sedimenti alcalini può determinare la solubilizzazione degli idrossidi precipitati incrementando la mobilità dei metalli;
- l'ossidazione di composti organici può dare luogo a prodotti più tossici di quelli dai quali sono derivati

Trattamenti in situ

Immobilizzazione/stabilizzazione in situ

Inibizione della mobilità del contaminante e nella riduzione della superficie di contatto tra l'ambiente e il contaminante

I contaminanti vengono circondati o relegati all'interno di una massa solida (Solidificazione) o vengono prodotte reazioni tra agente stabilizzante e contaminanti per ridurre la mobilità (Stabilizzazione)

La solidificazione riduce in modo notevole l'azione dei fenomeni di bioturbazione ed offre una maggiore resistenza ai fenomeni di erosione ed al rilascio degli agenti inquinanti.

I contaminanti presenti nei sedimenti interagiscono con il cemento secondo due meccanismi di fissazione

- chimica (riducibili sostanzialmente alla diminuzione della solubilità del contaminante):

 - Precipitazione;

 - Complessazione;

- fisica (per intrappolamento fisico di tutte le sostanze all'interno della matrice cementizia, comprese quelle non reattive):

 - Adsorbimento

Trattamenti in situ

Vantaggi potenziali e limitazioni

PRINCIPALI VANTAGGI:

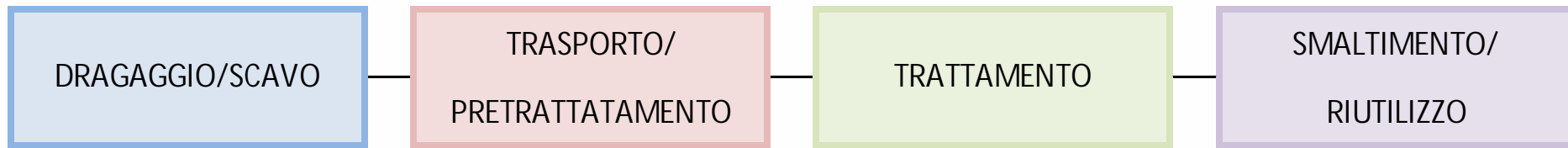
1. scarsa minore necessita di infrastrutture in termini di gestione del materiale
2. minimo rischio di risospensione dei sedimenti
3. riduzione dei rischi associati al trasporto e allo smaltimento di sedimenti contaminati
4. impatto più contenuto sulle comunità locali
5. costi contenuti

PRINCIPALI LIMITAZIONI:

1. permanenza dei sedimenti contaminati nell'ambiente acquatico
2. tempi
3. eterogeneità dei sedimenti
4. difficoltà di controllo dei parametri di processo
5. difficoltà ad operare con sedimenti a bassa permeabilità (limoso-argillosi) – miscelazione diffusione dei reagenti
6. difficoltà a bonificare in profondità

Trattamenti ex situ: Dragaggio e scavo

SCHEMA DI PROCESSO



Trattamenti ex situ: Dragaggio e scavo

Le tecniche di bonifica ex situ prevedono la rimozione dei sedimenti contaminati e il loro conferimento presso impianti di trattamento/smaltimento

Per la rimozione dei sedimenti è possibile procedere:

con sedimenti sommersi - dragaggio

previa allontanamento dell'acqua - scavo



www.fws.gov



www.cfrtac.org

Entrambi i metodi prevedono il trasporto dei sedimenti ad un sito di trattamento e/o di confinamento, che spesso prevede anche

- impianti di trattamento per le acque drenate
- Impianti di trattamento per le emissioni in atmosfera

Dragaggio e scavo

Elementi favorevoli

- Disponibilità di siti di conferimento idonei
- Disponibilità di aree di stoccaggio e trattamento
- Conformazione idonea delle aree costiere - assenza di infrastrutture, pontili o altro che possono ridurre la manovrabilità delle attrezzature di dragaggio o scavo
- profondità dell'acqua adeguata per poter manovrare la draga
- riduzione del rischio a lungo termine è maggiore dell'impatto negativo sull'habitat o sulla risospensione dei sedimenti
- la deviazione del corso d'acqua è fattibile, o la velocità della corrente è bassa o può essere ridotta
- I sedimenti contaminati coprono uno strato di sedimenti puliti
- Scarsa presenza di detriti o altre tipologie di materiali (ad es. tronchi, ciottoli, materiale di scarto)
- La contaminazione è concentrata in aree non troppo estese

Dragaggio e scavo

Vantaggi potenziali e limitazioni

PRINCIPALI VANTAGGI:

- 1.elimina i rischi associati alla contaminazione
- 2.NO restrizioni agli usi del corpo idrico
- 3.consente il trattamento e/o il riuso del materiale dragato o scavato
- 4.relativa rapidità con cui le operazioni di scavo e di dragaggio vengono portate a termine



PRINCIPALI LIMITAZIONI:

- 1.complexità e costo
- 2.scarsa disponibilità dei siti di conferimento
- 3.contaminazione residua (maggiore in presenza di ciottoli e materiale grossolano, a elevate profondità e quando il materiale contaminato è a contatto diretto con un fondo roccioso)
- 4.perdita dei contaminanti attraverso risospensione e volatilizzazione.
- 5.inevitabile impatto sull'habitat

Dragaggio e scavo

scavo vs dragaggio P Vantaggi e svantaggi

Vantaggi

- gli operatori possono osservare direttamente le operazioni (anche se è possibile anche nel dragaggio idraulico utilizzare ausili - sommozzatori, video monitoraggio, ecc)
- la rimozione dei sedimenti contaminati è più accurata (contaminazione residua inferiore)
- minori precauzioni per tener conto delle condizioni del fondo (ad es. i detriti) e delle caratteristiche dei sedimenti (granulometria)



Svantaggi

- la preparazione del sito può essere lunga e costosa (dewatering, deviazione del corso d'acqua..)

<http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/trel08-29.pdf>

Dragaggio e scavo

Applicazione della tecnologia di scavo

l'isolamento del materiale dall'acqua avviene isolando l'area di scavo e allontanando eventuali flusso dell'acqua di falda P acque poco profonde

1. Isolamento dell'area Ø palancole, palificate, diaframmi, dighe di terra o derivazioni dei corsi d'acqua

Le palancole vengono infisse sul fondo Ø difficoltà su fondali rocciosi
Deviazione del corso d'acqua Ø la portata deve essere modesta.

2. Raccolta e allontanamento dell'acqua, compresa l'eventuale acqua di falda che si infiltra dal fondo.

3. Scavo con attrezzatura comune per la movimentazione terra (escavatori)

4. Ripristino della situazione idraulica originaria del sito

Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale

Rispetto al dragaggio tradizionale minimizzare la perdita di sedimenti e/o il rilascio di contaminanti applicando tecnologie innovative e controlli mirati, oltre che con barriere di vario genere (cortine e schermi limosi, galleggianti,...)

Aspetti da tenere in considerazione:

- Accuratezza nel posizionamento e nella rimozione – rimuovere uno spessore di overdredging cautelativo (15%-20%)
- Contenere la produzione di torbidità – anche mediante barriere
- Prevenzione della perdita di materiale in fase di scavo – ridurre al minimo il materiale disturbato ma non rimosso
- Contenere il contenuto d'acqua del materiale dragato

Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale

I mezzi utilizzati sono allestiti apportando modifiche ai mezzi tradizionale o realizzando vere e proprie draghe ambientali



Conventional Clam



Enclosed Bucket



Articulated Fixed-Arm



Cutterhead



Horizontal Auger



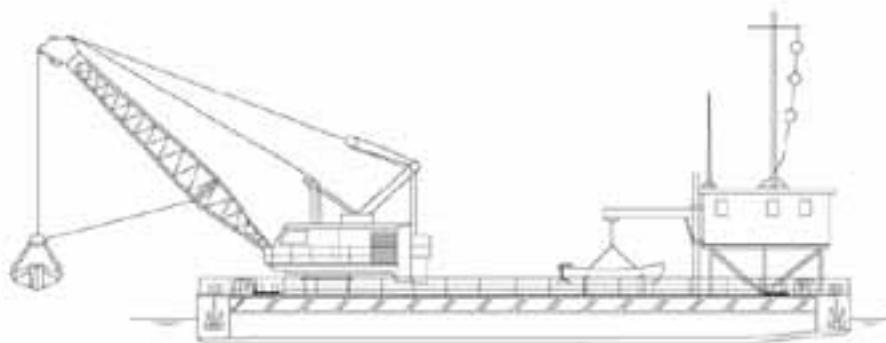
Plain Suction

Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale: Dragaggio meccanico

tecnologie simili a quelle dello scavo impiego di pontoni, sistemi di ancoraggio equipaggiati con:

escavatore idraulico con benna rovescia



gru con braccio a traliccio equipaggiato con benna mordente idraulica

Il dragaggio meccanico può essere particolarmente efficace:

- aree ristrette
- modesti volumi di materiale

○ la produttività di questo tipo di dragaggio è normalmente bassa

Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale: Dragaggio meccanico

Draghe a benna mordente

- sono utilizzate generalmente su fondali limosi o fangosi
- il materiale può essere depositato nel proprio pozzo di carico di capacità compresa tra i 100 e i 2.500 m³, o in una betta
- la capacità della benna mordente è compresa tra 1 e 200 m³
- interventi di modeste dimensioni
- accuratezza
- scarsa produzione: 1000-2000 m³/h



Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale: Dragaggio meccanico

Draga con escavatore

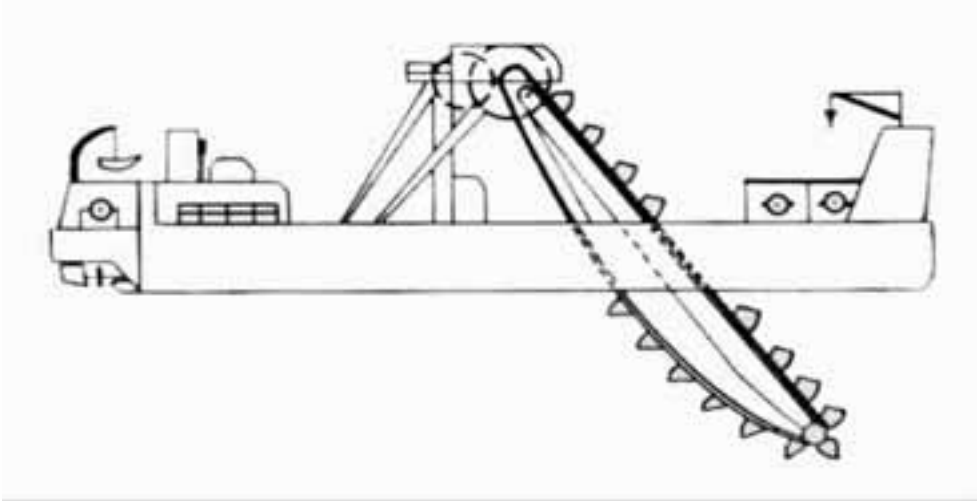
- interventi di modesta entità per terreni molto resistenti
- il materiale viene depositato sul pontone o in una betta
- accuratezza - tolleranza sino a 10 cm
- la capacità della benna è compresa tra 1 : 1-40 m³
- profondità modeste
- scarsa produzione: 1000-2000 m³/h



<http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/trel08-29.pdf>

Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale: Dragaggio meccanico



La capacità della secchia varia tra 100 litri e un metro cubo. La produzione massima settimanale è di 10.000-100.000 m³ e può operare fino ad una profondità massima di 20 m.

Nelle draghe a secchie, il materiale sciolto caricato nelle secchie (bucket) è trasportato fino al punto più alto della catena di secchie dove avviene lo scarico in una betta grazie ad uno scivolo.

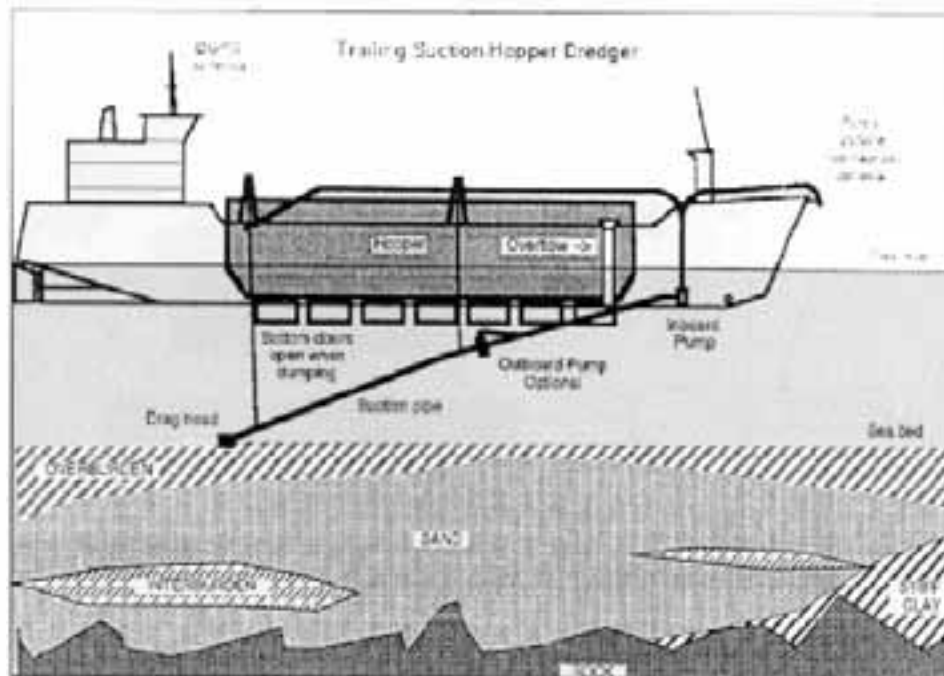


Laguna di venezia – maggio 2008 <http://www.dica.unict.it/users/efoti>

Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale: Dragaggio idraulico

aspirano, per mezzo di una pompa centrifuga, una miscela costituita da acqua e materiale sciolto del fondo. La miscela, attraverso una condotta d'aspirazione, è convogliata direttamente al sito di scarico oppure è depositata nel pozzo di carico della draga o di una betta.



Draga aspirante semovente con pozzo di carico

<http://www.dica.unict.it/users/efoti>

Dragaggio e scavo

Tecniche di dragaggio ambientale: Dragaggio idraulico

Nel caso di materiali sciolti la sola suzione può mettere in sospensione il materiale
Nel caso di materiali dotati di coesione può essere necessario l'ausilio di dispositivi aggiuntivi incorporati nella bocca d'aspirazione:

1. azione meccanica

- frese terminali a lame (cutter head)
- a secchie (bucket wheel)
- a vite (worm-wheel)

2. azione idraulica

- getti addizionali d'acqua

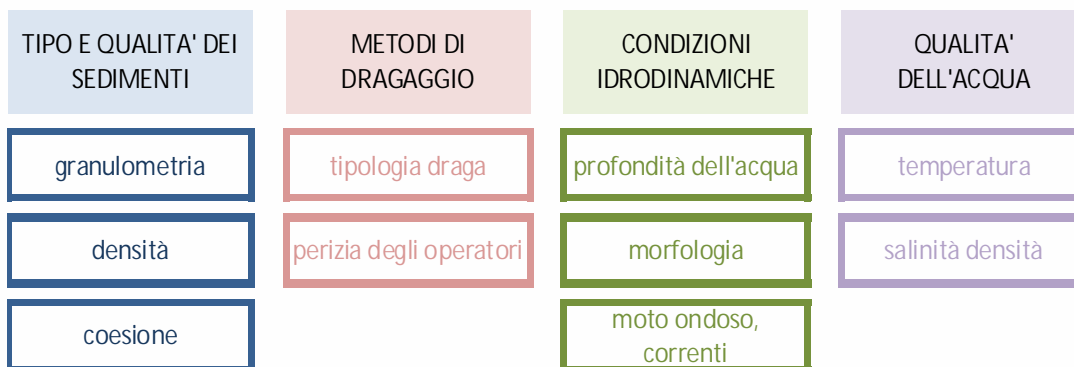


Dragaggio e scavo

FATTORI CHE INFLUENZANO LA DISPERSIONE DI CONTAMINANTI



<http://www.dica.unict.it/users/efoti>



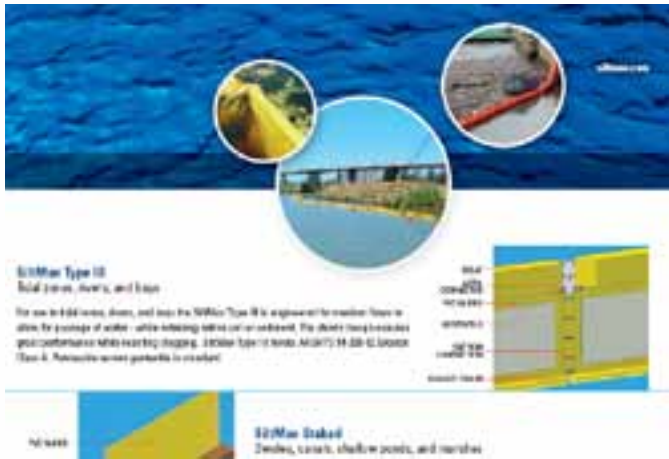
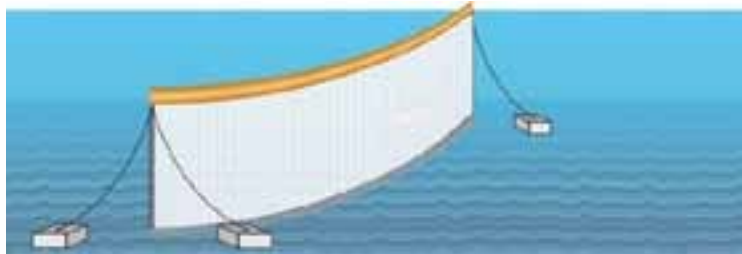
Principali meccanismi di rilascio dei contaminanti :

- Rilascio di particolato - dipende dalle attrezzature e dalle operazioni di dragaggio nonché dalle caratteristiche dei sedimenti
- Rilascio di contaminanti disciolti - le operazioni di dragaggio espongono i sedimenti a cambiamenti nel potenziale redox e nel rapporto liquido/solido che possono determinare aumenti della solubilità di diversi inquinanti
- Rilascio di volatili

Dragaggio e scavo

Tecniche per la riduzione dell'inquinamento

Riduzione della dispersione dei sedimenti: PANNE GALLEGGIANTI



Installazione di barriere



http://www.elastec.com/siltmax_a.pdf

<http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/trel08-29.pdf>

Dragaggio e scavo

Tecniche per la riduzione dell'inquinamento



http://www.clu-in.org/conf/tio/seddredging_102306

Dragaggio e scavo

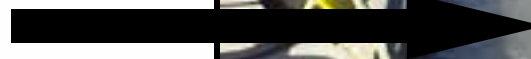
Tecniche per la riduzione dell'inquinamento



Silt Curtain



**Bubble
Curtain**



http://www.clu-in.org/conf/tio/seddredging_102306

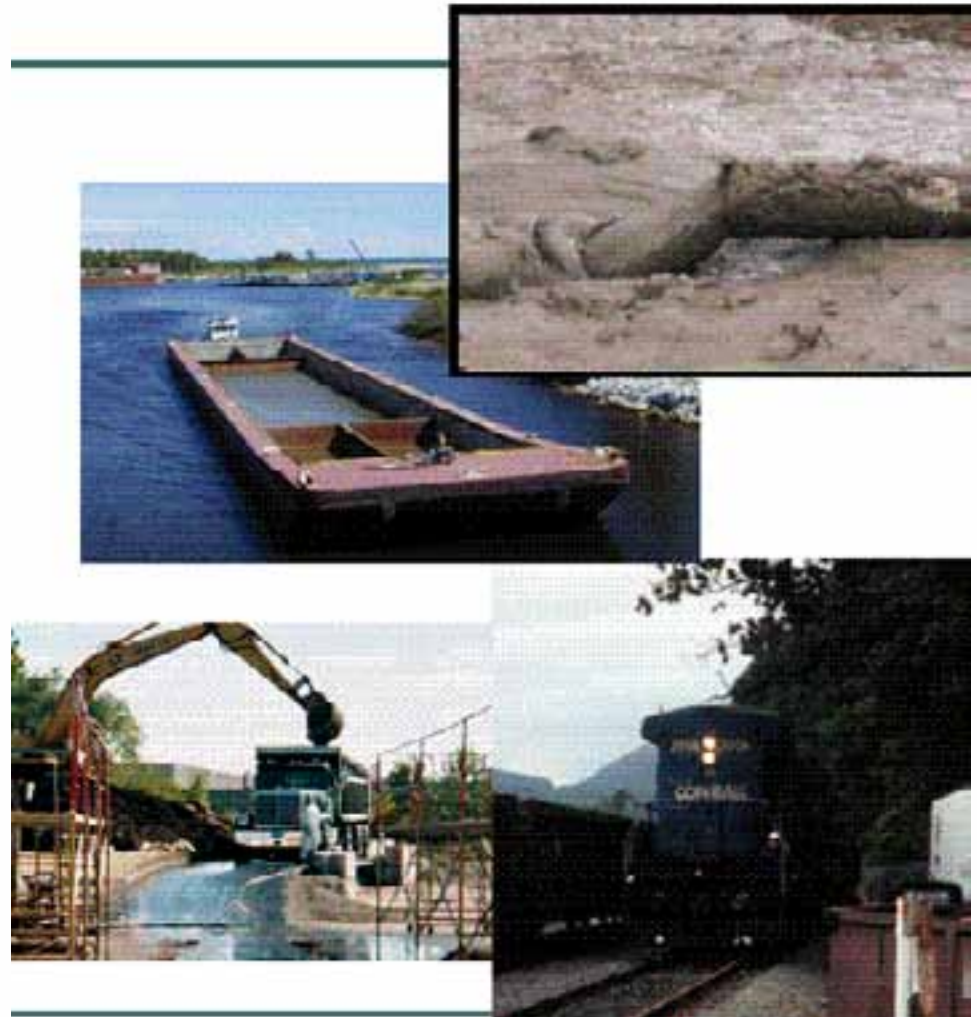
Trasporto

È funzione

- della distanza dal sito di trattamento
- della tipologia di trattamento (contenuto in acqua)

TIPOLOGIE

- Trasporto Idraulico - tramite condotta
- Trasporti “meccanici in batch”
 - Ø Su acqua (chiatta)
 - Ø Autotrasporto
 - Ø Linea ferroviaria



http://www.clu-in.org/conf/tio/seddredging_102306

Pretrattamento

Obiettivi

Modificare il materiale in modo da renderlo conforme ai requisiti necessari per il trattamento e/o lo stoccaggio

Tipi di pretrattamento:

- essiccamento
- separazione fisica (classificazione dimensionale)
- precondizionamento (correzione pH, mobilizzazione contaminanti, abbattimento contaminanti non adsorbiti, ecc)

Pretrattamento

Essiccamento: disidratazione passiva

I sedimenti sono disposti in strati sottili all'interno di aree opportunamente predisposte (collettamento, raccolta e smaltimento acque di drenaggio) – lagunaggio

Avviene grazie a tre processi:

- drenaggio
- consolidamento
- evaporazione

Tradizionalmente adottata nelle CDF (confined disposal facilities) è una soluzione efficace ed economica, ma richiede tempi lunghi e disponibilità di aree



Pretrattamento

Essiccamento: disidratazione passiva



ENEA Prospettive di sviluppo e tecnologie innovative per la bonifica di acque e sedimenti. Approccio italiano e casi studio, 2009

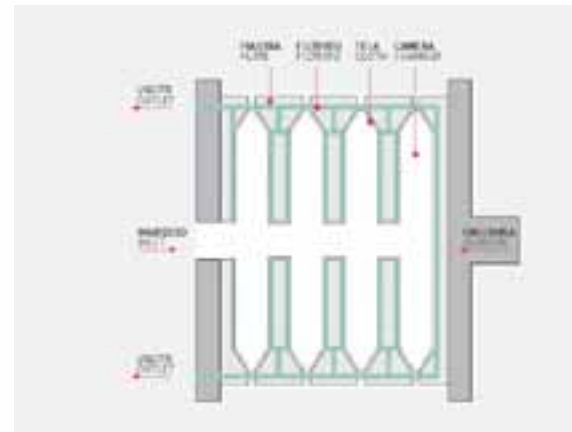
Pretrattamento

Essiccamento: disidratazione meccanica

sistemi impiegati per il trattamento dei fanghi reflui civili/industriali processi industriali - 3 tipologie differenti:

- ispessimento a gravità
- centrifugazione
- filtrazione

La filtropressa è composta da una serie di piastre alternate a telai che aderendo l'una all'altra formano delle camere. Il fango viene pompato ad elevate pressioni dentro il filtro. La fase solida viene trattenuta nelle intercapedini tra piatti e telai e dalla filtropressa esce la fase liquida, a basso contenuto di solidi sospesi, nelle camere si forma il pannello di fango disidratato che viene recuperato con l'apertura della filtropressa (il processo di filtropressatura è un processo discontinuo).



http://www.italprogetti.it/repository/products/depliant_it/FILTROPRESSA.pdf



<http://www.fraccarolibalzan.it/filtropresse.cfm>

Pretrattamento

Essiccamento: disidratazione attiva

Sfrutta fonti di energia per riscaldare i sedimenti,

tecnologie di essiccamento più costose, ma anche le più efficaci

- rimozione di quasi tutta l'acqua associata al sedimento
- contenuti di solidi attorno al 90% in peso

Il meccanismo di perdita dei contaminanti principale è la volatilizzazione, dovuto al riscaldamento dei sedimenti.



Pretrattamento

Separazione fisica

Ha la finalità di

- separare la frazione fine alla quale è principalmente associata la contaminazione
- suddividere in porzioni granulometricamente omogenee il sedimento per facilitarne la gestione (trattamento/smaltimento)



<http://www.sbmchina.com>



www.art-engineering.com

Tipologie di impianti utilizzati per la classificazione dimensionale:

- griglie: separano materiale grossolani > 2 cm;
- Vibro-vagli: separano materiale con dimensioni 2.5 cm ÷ 40µm
- idrocicloni: separano i limi e le sabbie fini

Possono essere messi in serie

- Le griglie e i vagli possono essere alimentati con materiali secco o con torbide
- gli idrocicloni solo con torbide



www.art-engineering.com

Pretrattamento

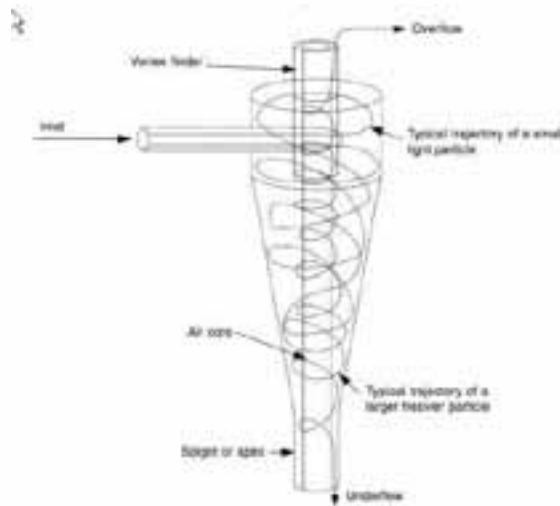
Separazione fisica

Idrocicloni separano i limi e le argille fini dalla sabbia azione congiunta della forza centrifuga gravitativa

- preceduti dalla vagliatura
- alimentati con materiale di dimensioni inferiori a 400 μm
- separano particelle fino a 5 μm .



www.usatomacchine.it



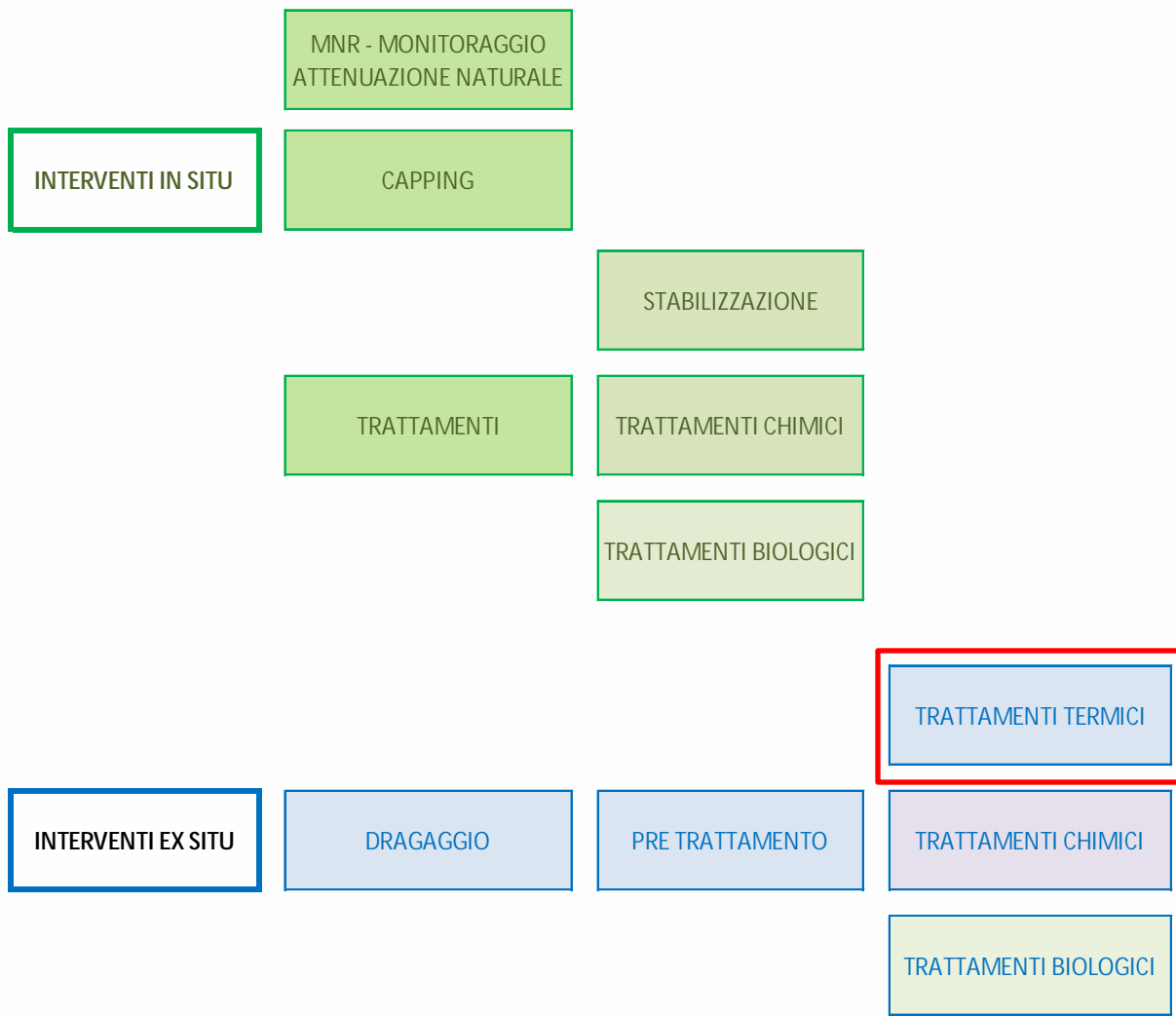
schema di funzionamento:

- la sospensione viene immessa tangenzialmente ad elevata velocità nella zona superiore in modo da imprimerle un moto rotatorio;
- per effetto di tale moto i sedimenti più grandi e più pesanti vengono centrifugati e spinti verso la parete più esterna e, per la contemporanea azione della forza di gravità, scendono verso il basso e possono essere così scaricati attraverso la valvola posizionata sul fondo.
- sulle particelle di dimensioni inferiori prevale la forza di trascinamento che le trascina verso l'asse del ciclone e possono essere così evacuate attraverso lo sfioro ubicato in sommità.)

<http://www.sbmchina.com>



Alternative di intervento



Trattamenti ex situ

Trattamenti termici

consistono nel riscaldare i sedimenti a centinaia o migliaia di gradi, ottenendo così un'efficace distruzione dei composti organici (PCB, IPA, diossine, furani, idrocarburi del petrolio, pesticidi)

I metalli pesanti non vengono distrutti, in alcuni di questi trattamenti vengono immobilizzati in una matrice vetrosa (Vetrificazione); i metalli volatili, ed in particolare il mercurio, vengono rilasciati con i gas esausti che necessitano quindi di un'unità di trattamento

INCENERIMENTO

PIROLISI

OSSIDAZIONE AD
ALTA PRESSIONE

VETRIFICAZIONE

Trattamenti ex situ

Trattamenti termici: incenerimento

Consiste nel riscaldare il materiale in presenza di Ossigeno per bruciare o ossidare la sostanza organica

L'applicazione di questa tecnologia a materiali umidi come i sedimenti è poco comune, l'acqua deve essere rimossa ➤ elevati consumi energetici che si traducono in costi elevati

non rimuove i metalli pesanti ceneri ➤ trattate

Due categorie:

- Convenzionali (forni rotante, letto fluido) - temperature intorno a 650-1100°C e camera di post-combustione per la completa distruzione dei composti volatili; prodotto finale sono le ceneri secche -
- Innovativo - temperature più alte, costi più elevati, maggiori efficienze di distruzione e rimozione; i residui del processo sono loppa densa e solidi vetrificati che hanno il vantaggio di non essere lisciviabili

Trattamenti ex situ

Trattamenti termici: incenerimento

Inceneritore a forno rotante: camera di combustione primaria (cilindro rotante rivestito di materiale refrattario), post-combustione e unità di controllo delle emissioni.

La rotazione del cilindro determina la continua rimescolazione del rifiuto → migliore efficienza di combustione

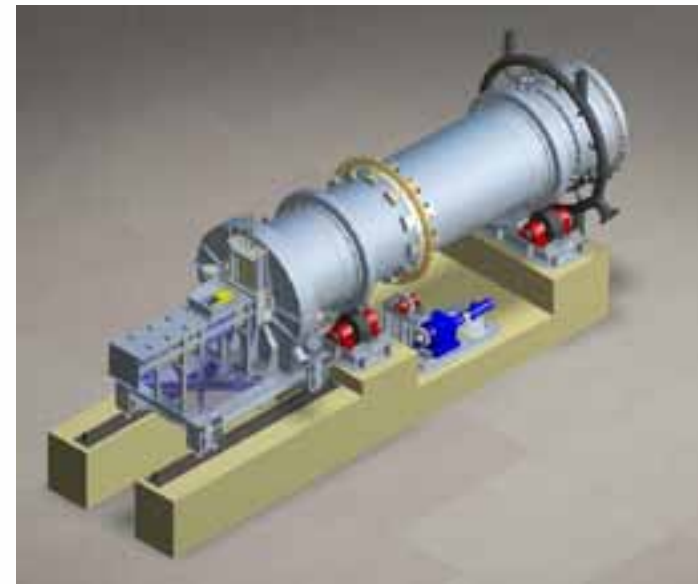
la regolazione di velocità: controllo del tempo di permanenza → perfetta combustione

Bruciatore nella zona frontale fornisce il calore

Può operare, a seconda del tipo di rifiuto da bruciare, a temperature tra 800 e 1100 °C con tempi di ritenzione da 15 minuti ad alcune ore.

Secondo bruciatore può essere previsto nella zona terminale del cilindro per rimuovere eventuali scorie ; nella camera secondaria si hanno temperature attorno ai 1300° con tempi di residenza di due secondi.

L'inceneritore opera in condizioni di eccesso d'aria per garantire la perfetta combustione di vari composti.



Inceneritore a forno rotante
(<http://www.bruimpianti.com>)

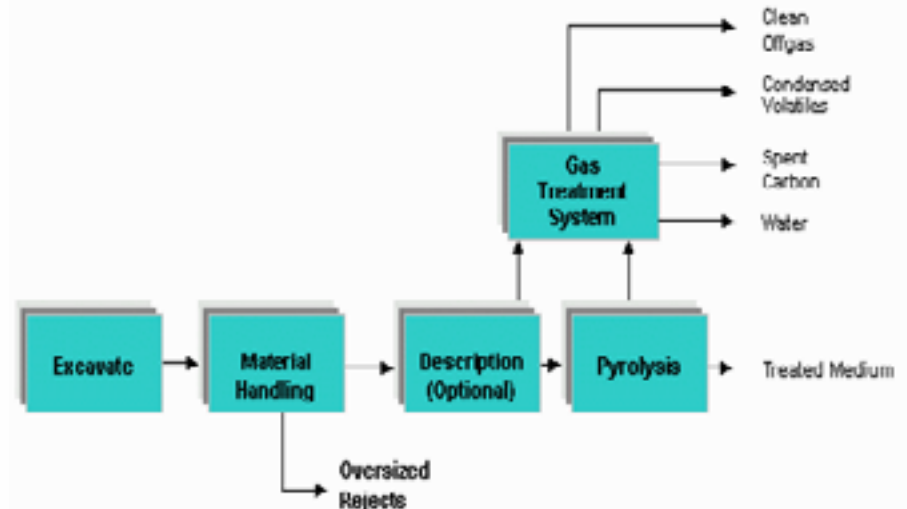
Trattamenti ex situ

Trattamenti termici: pirolisi

Il processo consiste:

- riscaldare il materiale in assenza di Ossigeno
- temperature dell'ordine dei 400-800°C. In tali condizioni si verifica la rottura delle molecole complesse e la formazione di composti leggeri
- produzione di un gas di pirolisi o syngas, di un residuo solido carbonioso ancora combustibile o char e di una frazione liquida a temperatura ambiente (olio pirolitico o tar)
- i gas prodotti sono convogliati nella camera di post-combustione a 1200 °C..

Descrizione del processo →



<http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-25.html>

Trattamenti ex situ

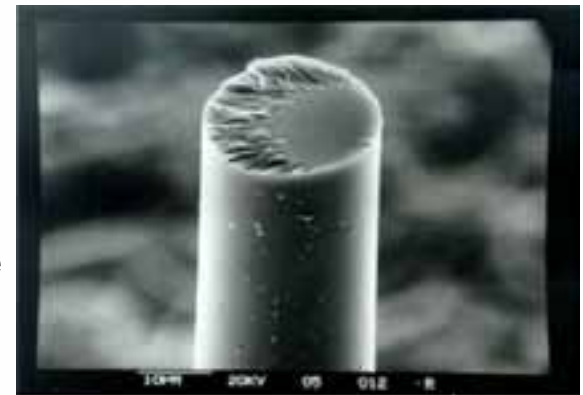


Trattamenti termici: vetrificazione

Il processo è basato sul riscaldamento del sedimento ad una temperatura generalmente compresa nell'intervallo 1.600-2.000 °C, che comporta la fusione del materiale, seguita poi da un rapido raffreddamento che porta alla formazione di un monolite amorfo e non cristallino

Consorzio Venezia Ricerche *Vetrificazione innovativa dei sedimenti della Laguna di Venezia. Progetto SerTech*
 sedimenti contaminati da metalli, IPA, PCB, PCDD/F
 processo integrato

- pretrattamento del sedimento e successiva disidratazione
- stabilizzazione/solidificazione con cemento (evitare il maneggio delle polveri fini di sedimento disidratato)
- trattamento termico a medie temperature (400-500 °C)
- vetrificazione innovativa (1200-1400 °C)
- ricottura a 700 °C → si ottiene un massa vetrosa ed una lega ferrosa depositata sul fondo del crogiolo separabile dal vetro
- (meccanicamente o per interazione magnetica)
- Possibile impiego per ottenimento materiali ceramici



www.dim.unipd.it/materiali/vetro/rifiuti.html

Trattamenti ex situ

Trattamenti termici: Ossidazione ad alta pressione

Agisce sui composti organici sfruttando la combinazione di elevate T e P

Due tecnologie: la **wet air oxidation (WAO)** e **supercritical water oxidation (SWO)**.

- WAO: opera a pressioni pari a 1/10 rispetto a quelle della SWO
 - È efficace su idrocarburi (inclusi IPA), alcuni pesticidi, composti fenolici, cianuri e altri composti organici.
 - Non è efficace nella distruzione dei composti organici alogenati (PCB).
L'ossidazione può essere accelerata mediante l'utilizzo di catalizzatori.
- SWO: prevede la decomposizione dei contaminanti in acqua a T di 374 °C (=Tc H₂O) e P di 221 atm (=Pc H₂O), in presenza di aria, ossigeno o perossido di idrogeno. In queste condizioni gli idrocarburi diventano completamente miscibili in acqua, mentre i sali inorganici diventano quasi insolubili. Le applicazioni di tale tecnologia hanno ricevuto prove limitate a scala di laboratorio e pilota, ma i dati ottenuti mostrano una completa efficacia di rimozione dei PCB e di altri composti stabili

Trattamenti ex situ

Trattamenti termici: Ossidazione ad alta pressione

Schema di processo supercritical water oxidation

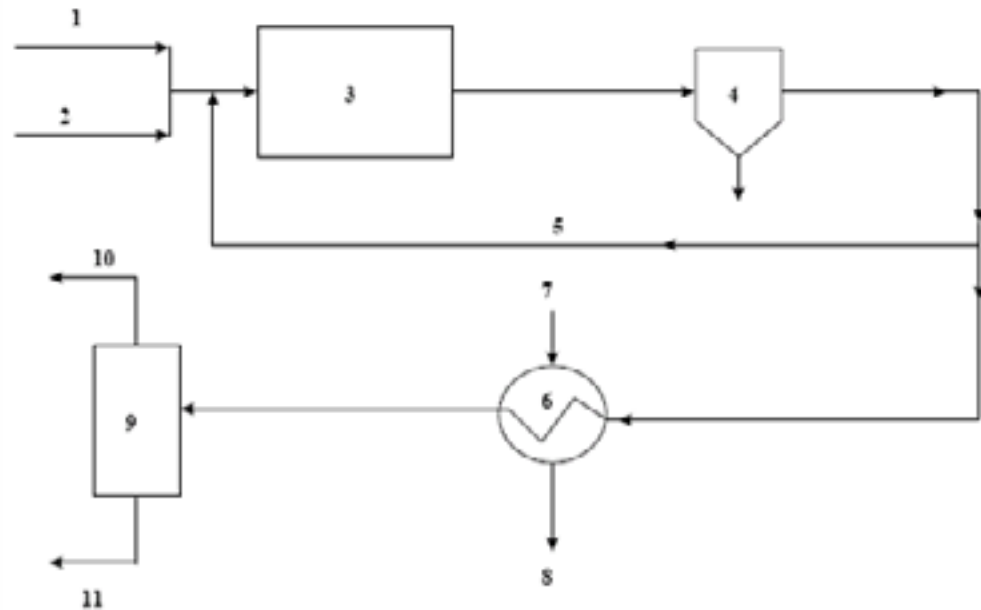


Figure 3. Process flow diagram for the SCWO of a typical organic waste. 1, Organic waste; 2, Compressed air; 3, SCWO reactor; 4, Solids separator; 5, Recycling; 6, Steam generator; 7, Water; 8, Steam; 9, Liquid-vapour separator; 10, Clean gas effluent; 11, Clean water effluent.

Suguna Yesodharan (2002): Supercritical water oxidation: An environmentally safe method for the disposal of organic wastes

Trattamenti ex situ

Trattamenti termici: desorbimento termico

I contaminanti non vengono distrutti: separa fisicamente i composti volatili e semivolatili dai sedimenti, portandoli a temperature comprese tra 90° e 540° .
L'acqua (Il fluido di trasporto), i composti organici ed alcuni metalli volatili sono vaporizzati nel processo di riscaldamento e successivamente condensati e raccolti in forma liquida attraverso adsorbimento su carboni attivi e/o distrutti in camere di postcombustione.

Rispetto ai processi di distruzione termica: minori richieste energetiche, minori emissioni tossiche, minori volume di emissioni gassose.

necessità di prevedere unità di trattamento dei composti organici volatilizzati

Efficace per rimuovere i composti organici volatili e i metalli più volatili (Hg, As)

Inefficace con i composti inorganici

Trattamenti ex situ

Trattamenti termici: desorbimento termico. Esempio



Tramoggia e forno di desorbimento

- Le sostanze inquinanti desorbite dalla matrice del suolo, sono trasportate dalla corrente d'aria calda nella sezione di trattamento delle emissioni
- All'interno del post combustore grazie ad un bruciatore a GPL ($T = 850^{\circ}\text{C}$), i composti organici nei gas sono distrutti
- Trattamento gas di scarico: raffreddamento $\bar{\text{O}}$ filtraggio $\bar{\text{O}}$ lavaggio $\bar{\text{O}}$ filtri a carboni attivi $\bar{\text{O}}$ immissione in atmosfera

Desorbimento termico - Pisticci (Mt)
18.0000 ton terreno contaminato da HC pesanti



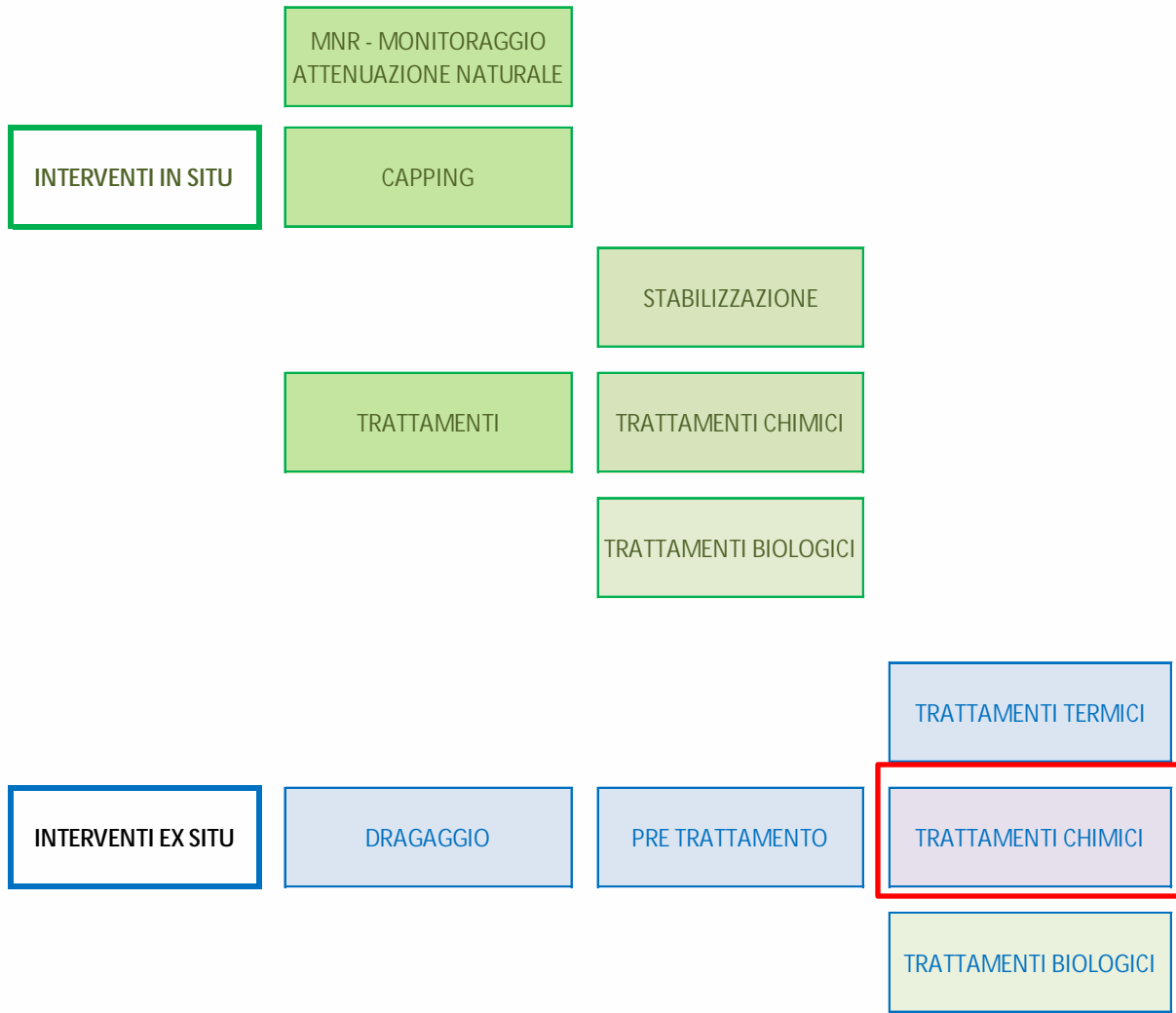
- Pretrattamento - frantumazione
- trasporto alla tramoggia di recapito mediante pala meccanica.
- nastro trasportatore trasferisce ad un forno a rotazione riscaldato a GPL (600°C)
- le sostanze contaminanti si volatilizzano e passano alla fase gassosa
- Il terreno decontaminato, raffreddato con acqua, esce dall'impianto attraverso una coclea trasportatrice



<http://www.setsrl.com/home/main.php?menuId=1.2177.2234.2243>



Alternative di intervento



Trattamenti ex situ

Trattamenti chimici

Due tipologie di processo:

1. trasformazione chimica dei contaminanti in composti non pericolosi
 2. immobilizzazione dei contaminanti in matrici stabili così da renderli non più mobili
- **Soil/sediment washing:** trasferisce i contaminanti in fase liquida sfruttando l'azione di composti chimici ...non è un vero trattamento chimico P trasferimento da una matrice ad un'altra
 - **Estrazione:** trasferisce i contaminanti in un solvente
 - **Chelazione:** immobilizza i contaminanti in complessi stabili che possono essere smaltiti oppure sottoposti a successivi trattamenti di inertizzazione
 - **Solidificazione/stabilizzazione:** i sedimenti vengono inglobati in una matrice solida avente caratteristiche tali da impedirne la successiva migrazione
 - **Dealogenazione:** trasforma i contaminanti alogenati in composti non pericolosi
 - **Ossidazione:** trasforma i contaminanti ossidandoli

Trattamenti ex situ

Trattamenti chimici: Soil/sediment washing

La capacità di questa tecnologia di isolare i contaminanti dipende dalle proprietà di ogni classe di sostanze come...

- polarità
- volatilità
- solubilità in acqua
- ...dalle caratteristiche del terreno contaminato...
- pH
- sostanza organica
- capacità di scambio cationica
- dimensioni delle particelle

Trattamento delle acque di processo

- *Miscelazione: vengono aggiunti chemicals per favorire l'aggregazione e la precipitazione/flocculazione (Na₂CO₃, Ca(OH)₂, sali di ferro o alluminio o polimeri organici..)*
- *Flocculazione: questa fase ha lo scopo di favorire la crescita dei fiocchi.*
- *Sedimentazione: ha lo scopo di separare per gravità i fiocchi*
- *Filtrazione: il flusso d'acqua viene filtrato per trattenere i fiocchi sfuggiti alla sedimentazione.*
- *Di solito, la maggior parte dell'acqua di processo, sia nel trattamento fisico che in quello chimico, viene ricircolata nell'impianto*

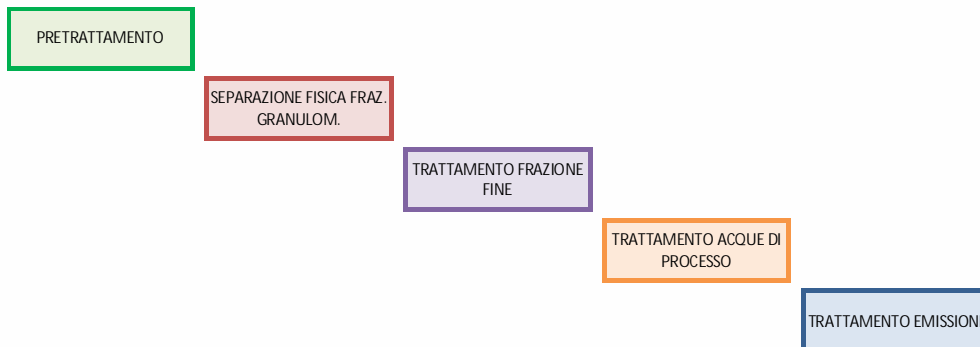
Trattamento della frazione fine

Estrazione di metalli e semi-metalli

- *Estrazione acida* es. acidi forti, principalmente HCl e deboli quali acido acetico, citrico...
- *Estrazione basica* L'agente più utilizzato è NaOH
- *Estrazione con Sali* : CaCl₂, NaNO₃, MgCl₂, Ca(NO₃)₂,
- *Estrazione con chelanti* es. acidi etilendiamminotetracetico (EDTA), nitriloacetico (NTA)...

Estrazione inquinanti organici

- *Estrazione con tensioattivi*
- *Estrazione con cosolventi*



Trattamenti ex situ

Trattamenti chimici: Soil/sediment washing

vantaggi:

- riduce la quantità di sedimenti che necessitano di ulteriori trattamenti
- riutilizzo del materiale
- è un sistema chiuso che consente il controllo di pH e temperatura
- il continuo rimescolamento e le vagliature, omogeneizzano il materiale e quindi migliorano l'efficacia del trattamento viene
- scarsa richiesta di energia
- costi di trattamento ridotti (preselezione dei materiali da trattare)
- tempi di trattamento ridotti

svantaggi:

- è necessario il dragaggio svantaggi dei trattamenti off site
- esposizione dei lavoratori a sedimenti potenzialmente pericolosi

Trattamenti ex situ

Trattamenti chimici: Soil/sediment washing+estrazione. Esempi

Esempio: impianto per il trattamento terreni/sedimenti contaminati da HC

I - Soil Washing: questa sezione ha una capacità di trattamento di circa 50 ton/h di terreno, contenente argilla e limo fino a 30%, e una più elevata capacità su quei terreni che hanno un contenuto più basso di argilla.

II- Estrazione con solvente: questa sezione ha una capacità di trattamento per la sola componente limo-argilla di 20 ton/h



Sezione SOIL WASHING

- lavaggio del terreno per “trascinare via” gli inquinanti e il materiale più fine
- le frazioni a granulometria più elevata sono ulteriormente lavate nelle sezioni successive
- Le parti a granulometria più fine, inferiore ai 75 µm, trascinate dal flusso di acqua di lavaggio, sono riaddensate in due fasi successive, prima per decantazione poi con pressatura meccanica
- frazione limo-argillosa è trattata nella sezione di estrazione con solvente

Sezione ESTRAZIONE CON SOLVENTE

- Estrazione con acetato di etile (ETAC) – biodegradabile, non tossico e rigenerabile
- reflui liquidi ed emissioni gassose contenute (boiler dell’unità di distillazione)



<http://www.ecotecgroup.it/index2.asp?Page=Menu&ID=187&Riporto=0>

Trattamenti ex situ

Trattamenti chimico/fisici: estrazione per flottazione

I sedimenti contaminati sono miscelati con opportune reagenti che agiscono sulle proprietà superficiali dei contaminanti per conferire loro proprietà adsorbenti all'aria

I contaminanti si adsorbono sulle bolle d'aria insufflate all'interno della cella di flottazione e formano uno strato di schiuma superficiale che può essere successivamente rimossa

Progetto pilota ICRAM-Impresa Taverna S.p.A. per la bonifica dei sedimenti della Laguna di Grado e Marano (trattamento sedimenti contaminati da Metalli, IPA, PCB)



da ICRAM: *Bonifica delle aree marino costiere incluse nei siti di bonifica d'interesse nazionale: dalla caratterizzazione al trattamento dei sedimenti contaminati*



Trattamenti ex situ

Trattamenti chimici: solidificazione/stabilizzazione

Processi che riducono la mobilità dei contaminanti e la superficie di contatto tra l'ambiente ed il contaminante

- Solidificazione: intrappola fisicamente l'inquinante all'interno di una matrice solida e lo trasforma in un materiale solido avente un'alta integrità strutturale,
- Stabilizzazione: vengono prodotte reazioni chimiche tra un agente stabilizzante e l'inquinante (può mantenere la sua forma fisica originaria) che ne riducono la mobilità, la tossicità e la solubilità.

sono ottenuti mediante l'aggiunta di leganti:

agenti stabilizzanti primari: sono utilizzati da soli per immobilizzare i contaminanti - cemento, calce (leganti inorganici), materiali termoplastici e termoindurenti, asfalto, bitume (leganti organici);

agenti stabilizzanti secondari o additivi, utilizzati in aggiunta agli agenti primari - loppa d'altoforno, pozzolane, polverino da carbone, fumo di silice e argille (leganti inorganici).

Trattamenti ex situ

Trattamenti chimici: inertizzazione

Impianto Mapei-Intec bonifica terreni contaminati da metalli pesanti a Murano (VE)

- disidratazione “naturale” in vasca di stoccaggio
- vagliatura del materiale scavato (~ 8 cm)



- lavaggio del materiale di sopravaglio
- essiccamento naturale e smaltimento in discarica come inerte
- trattamento di inertizzazione del materiale di sottovaglio a base cementizia con aggiunta di opportuni reattivi miscelati a cemento e acqua

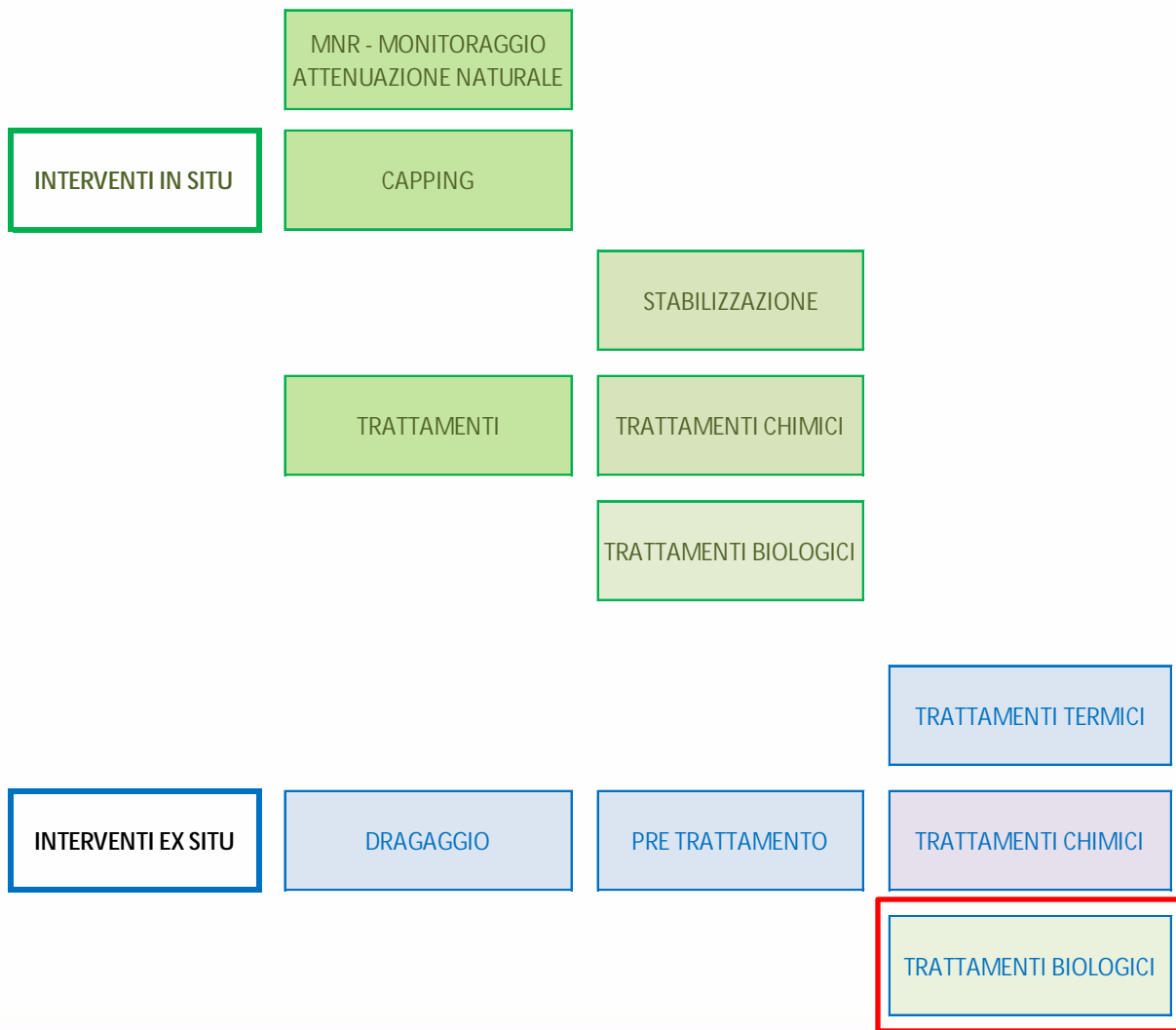


- risultato finale conglomerato cementizio costituito da un insieme di elementi
- discreti ciascuno dei quali ha le caratteristiche di un conglomerato massivo (“pellets”).





Alternative di intervento



Trattamenti ex situ

Trattamenti biologici

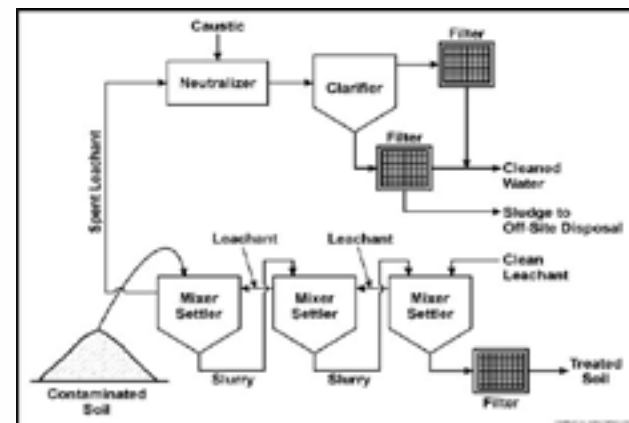
- tecnologie che sfruttano la capacità dei microrganismi di degradare i composti organici o di trasformarli in sostanze meno tossiche o innocue per l'ambiente
- Ai sedimenti sono aggiunti nutrienti (azoto, fosforo, ecc.), minerali e altri reagenti (come l'ossigeno) per fornire l'energia necessaria ai microrganismi per crescere e sopravvivere e per favorire quindi l'attacco microbico dei contaminanti organici adsorbiti sulle particelle solide o disciolti nella fase acquosa (biostimolazione)
- Possono essere anche aggiunti microrganismi esogeni all'ambiente per stimolare i processi di biodegradazione (bioaugmentation).

Trattamenti ex situ

Trattamenti biologici : Reattori Bioslurry

- Il fango (sedimento-acqua contenuto di solidi 15-40%) è immesso nel reattore e miscelato con nutrienti e ossigeno. Se necessario possono essere aggiunti acidi o basi per controllare il pH, così come microrganismi, se la popolazione presente non risultasse sufficiente. Quando la biodegradazione è completa, l'acqua viene eliminata attraverso chiarificatori, filtri a pressione, filtri a vuoto, centrifughe ecc
- trattamento aerobico è il più impiegato $\bar{\text{O}}$ insufflazione di aria o di altre fonti di ossigeno.
- prevista un'unità di controllo delle emissioni (contaminanti volatilizzano durante la fase di miscelazione e/o di aerazione)

Schema di processo



www.portal.navfac.navy.mil

Trattamenti ex situ

Trattamenti biologici : Landfarming

- i sedimenti, miscelati con opportuni ammendanti, vengono collocati su aree appositamente predisposte (impermeabilizzazione, raccolta fluidi di percolazione...)
- Soluzioni più ingegnerizzate prevedono la copertura delle aree di trattamento per consentire la regolazione di umidità, temperatura e controllare le emissioni di sostanze volatili
- Lo strato di sedimenti trattato è di circa 15-20 cm e la sua regolare coltivazione, l'aggiunta di nutrienti e inoculi di facilitano il processo di biodegradazione.



www.environmentalfieldservices.com

Trattamenti ex situ

Trattamenti biologici : Phytoremediation

uso delle piante per rimuovere, contenere o rendere innocui i contaminanti

- Fitoestrazione: estraggono i contaminanti dal suolo e li concentrano nelle radici e nella porzione aerea
- Rizofiltrazione: utilizza piante ad apparato radicale particolarmente esteso, in grado di assorbire e concentrare i metalli nelle radici
- Fitodegradazione: consiste nella trasformazione di molecole organiche complesse in molecole semplici e nell'eventuale accumulo dei cataboliti non tossici nei tessuti vegetali
- Fitostabilizzazione: produzione di composti chimici da parte della pianta, in grado di tollerare elevati livelli di metalli, che immobilizzano i contaminanti all'interfaccia radici-suolo
- ...



Erba medica



Alyssum maritimum; Pteris vittata; Thlaspi caerulescens

Trattamenti ex situ

Esempi...



Un centro Europeo avanzato per il trattamento di terreni/sedimenti contaminati si trova nel porto di Anversa (Belgio) – DEME Group.

La capacità di trattamento di 400.000 tonnellate/anno

Le tecnologie applicate

- Bioremediation
- Soil washing
- Immobilizzazione
- Desorbimento termico



<http://www.grckallo.be>



Costi

La maggior parte delle informazioni sui costi di bonifica è ricavata da casi di studio su siti americani

- i prezzi sono difficilmente confrontabili con la situazione Europea, dal momento che i costi unitari per alcune voci possono variare in modo sostanziale tra Europa e USA (investimento, costo del lavoro, energia, ecc...)
- esistono notevoli differenze tra i diversi paesi Europei
- i prezzi sono dinamici e variano di anno in anno
- analisi dei costi può essere utilizzata come strumento per confrontare i costi tra diverse tecnologie applicabili ad uno stesso sito

Costi

Esempi di voci di “costo d’impresa”

categorie	voci di costo
Generali - per diverse tipologie d'intervento	mobilitazione/rimozione cantiere opere accessorie (es. recinzioni, strade monitoraggio (campionamenti, analisi, rilievi batimetrici...) prima, durante e subito rimozione e smaltimento rifiuti studi pilota project management (redazione rapporti ripristino habitat post intervento)
MNR	monitoraggio e reporting
Capping	materiali di copertura - costo dei materiali - attrezzature trasporto, stoccaggio e posa in opera - macchinari e attrezzature - affitto/espropri aree
Dragaggio/scavo	macchinari dragaggio/scavo interventi per il contenimento decontaminazione delle attrezzature isolamento delle aree - in caso di scavo realizzazione dei siti temporanei di trasporto dei sedimenti ai siti di

categorie	voci di costo
Pretrattamento/trattamento	acquisizioni/espropri aree realizzazione delle aree di pretrattamento trattamento dei sedimenti trattamento delle acque di dewatering misure di prevenzione dell'inquinamento acque sotterranee (conreollo delle smaltimento di eventuali residui)
Confinamento in casse di colmata	acquisizione delle aree realizzazione dei siti di stoccaggio - demolizione di strutture esistenti - scavi - macchinari realizzazione casse di colmata realizzazione coperture misure di prevenzione dell'inquinamento acque sotterranee (conreollo delle misure compensative)
Smaltimento in discarica	acquisizione delle aree realizzazione dei siti di stoccaggio trasporto

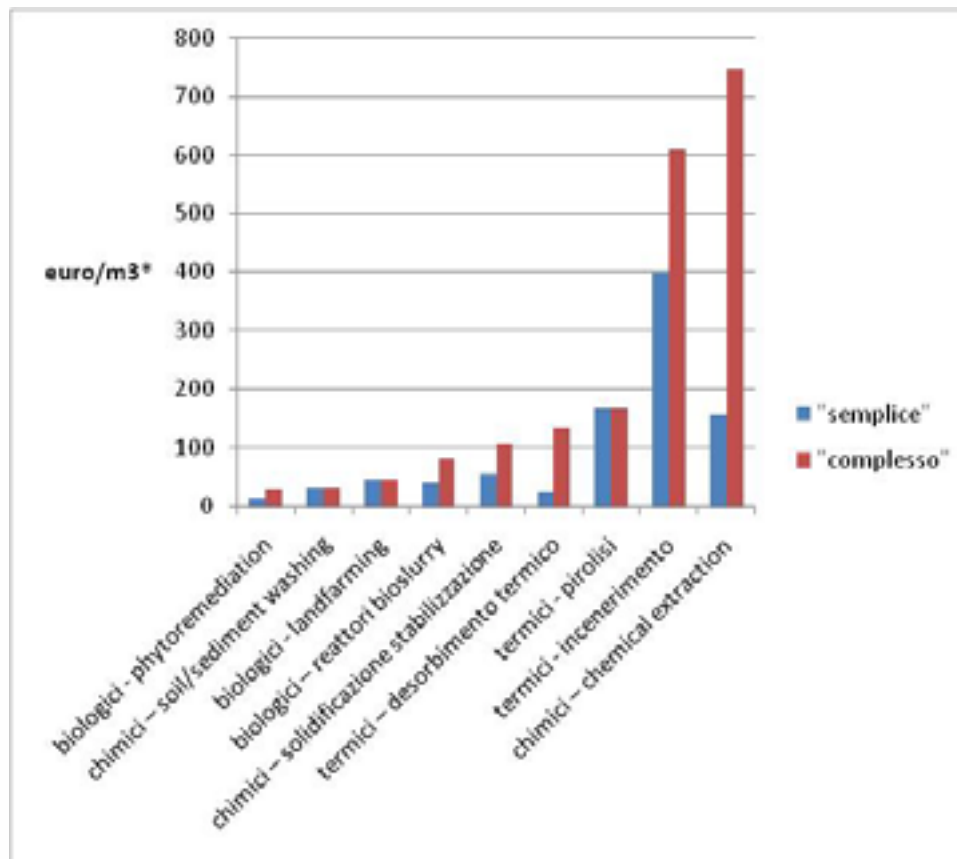
Costi

Stima dei costi per le tecniche di intervento ex situ

Interventi ex situ	"semplice"	"complesso"
Trattamenti termici - incenerimento	399	610
Trattamenti termici - pirolisi	167	
Trattamenti termici - desorbimento termico	23	133
Trattamenti chimici - soil/sediment washing	30	
Trattamenti chimici - chemical extraction	156	748
Trattamenti chimici - solidificazione stabilizzazione	54	108
Trattamenti biologici - reattori bioslurry	40	80
Trattamenti biologici - landfarming	43	
Trattamenti biologici - phytoremediation	14	28

Costi in Euro /m³

I valori relativi alla Phytoremediation sono in Euro/m²



Dati USEPA: www.frtr.gov

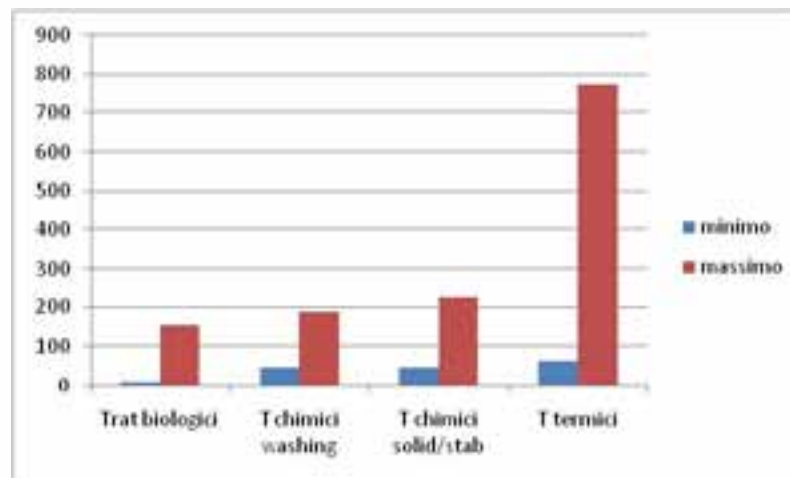
Costi

Stima dei costi per le tecniche di intervento ex sito

Interventi	Tecniche	minimo	massimo
dragaggio	Dragaggio	6	6
	Dragaggio ambientale	1720	2867
pretrattamento	essiccamento passivo	2	4
	filtrazione	5	5
	centrifugazione	5	5
	gravità	5	5
	separazione granulometrica, essiccamento, trattamento acque	9	43
trattamenti	tremici	63	774
	chimici	46	189
	chimici	46	225
	biologici	11	155

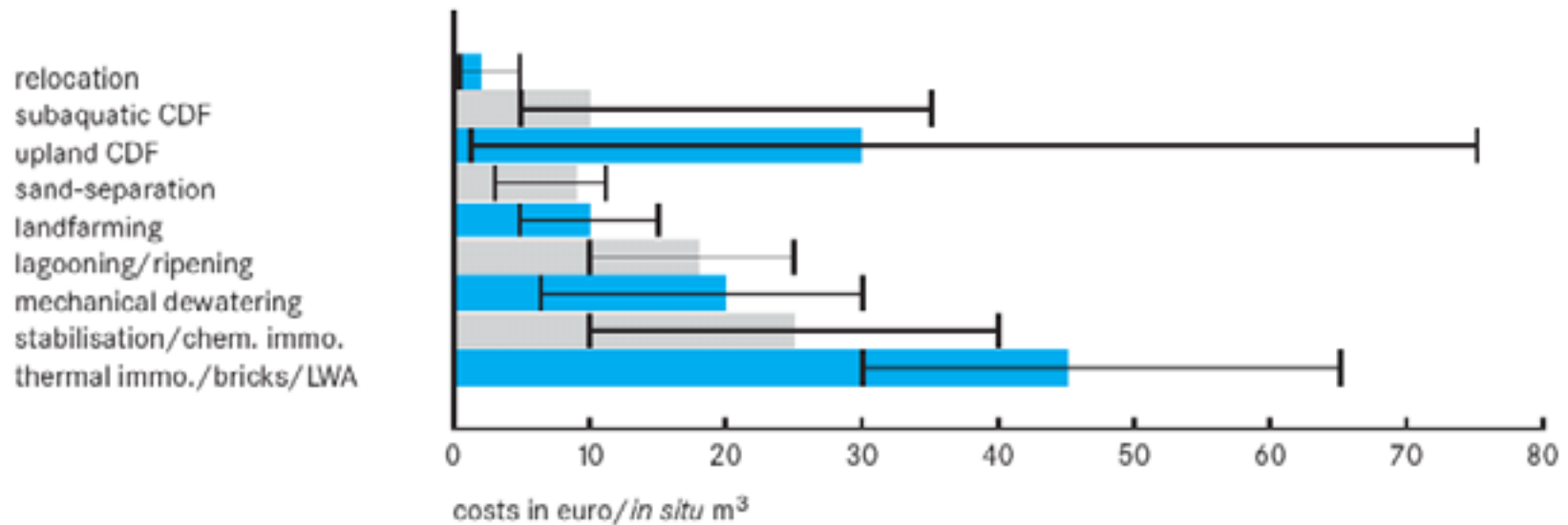
Costi in Euro /m3

Da: Contaminated Sediments at Navy Facilities, 2002



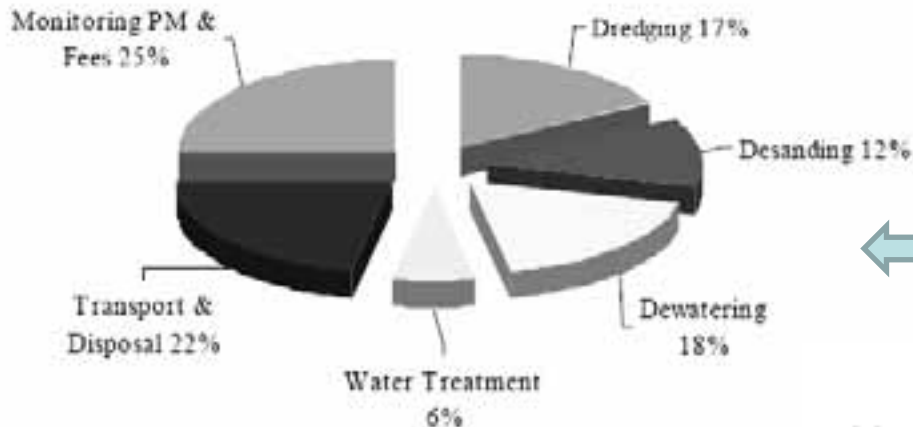
Dati USEPA: www.frtr.gov

Costi



Costi di trattamento e smaltimento. L'altezza della colonna rappresenta il valore medio mentre la barra rappresenta il range dei costi (Netzband et al. 2002; SedNet –Elsevier book “Sediment and dredged-material treatment”). L'opzione “smaltimento” varia in un ampio range a causa delle differenti condizioni a contorno. (Nota: i costi per le applicazioni dei prodotti non sono compresi. I costi per la separazione granulometrica non comprendono l'essiccamento e/o lo smaltimento; CDF = Confined Disposal Facility; LWA Light Weight Aggregate; chem = chimica; immo = immobilisation)

Costi



ANALISI DELLE VOCI DI COSTO RELATIVE AL DRAGAGGIO AMBIENTALE NEL PORTO DI NEW BEDFOR, 2004. L'INTERVENTO HA AVUTO UN COSTO DI CIRCA 800.000 \$ PER SETTIMANA. PM = PROJECT MANAGEMENT. FONTE USEPA Sediment Dredging at Superfund Megasites, 2005



ANALISI DELLE VOCI DI COSTO RELATIVE AL DRAGAGGIO AMBIENTALE NEL HYLEBOS WATERWAY,. PM = PROJECT MANAGEMENT. FONTE eUSEPA Sediment Dredging at Superfund Megasites, 2005

