

Contaminazione dei sedimenti costieri: problematiche ambientali e gestionali

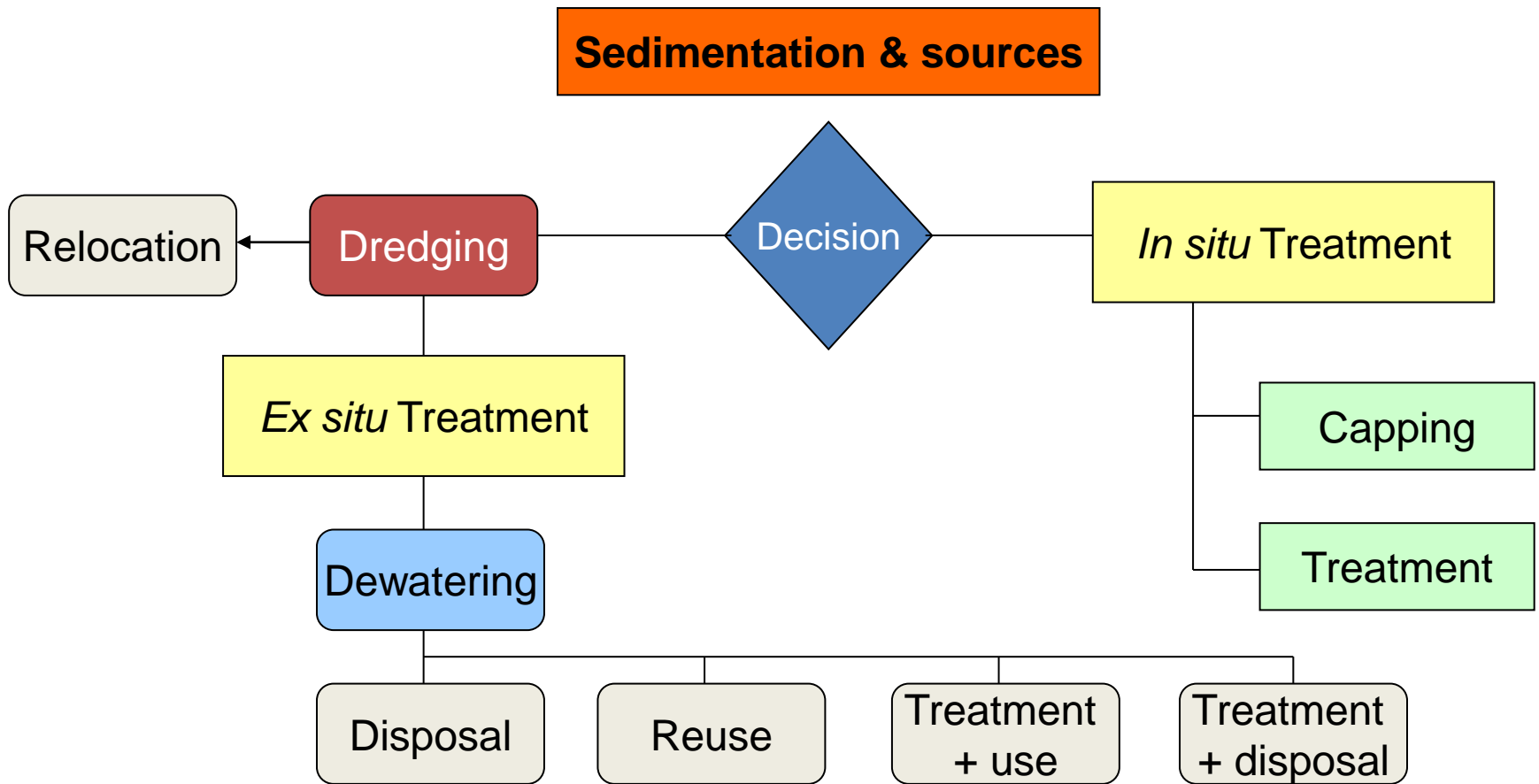
I processi di sedimentazione sono parte fondamentale del funzionamento dell'ecosistema fluviale e costiero.

I sedimenti sono stati contaminati in passato e, presumibilmente, lo saranno anche in futuro (ca. 200 Mm³/anno in Europa, di cui 10-20% contaminati!).

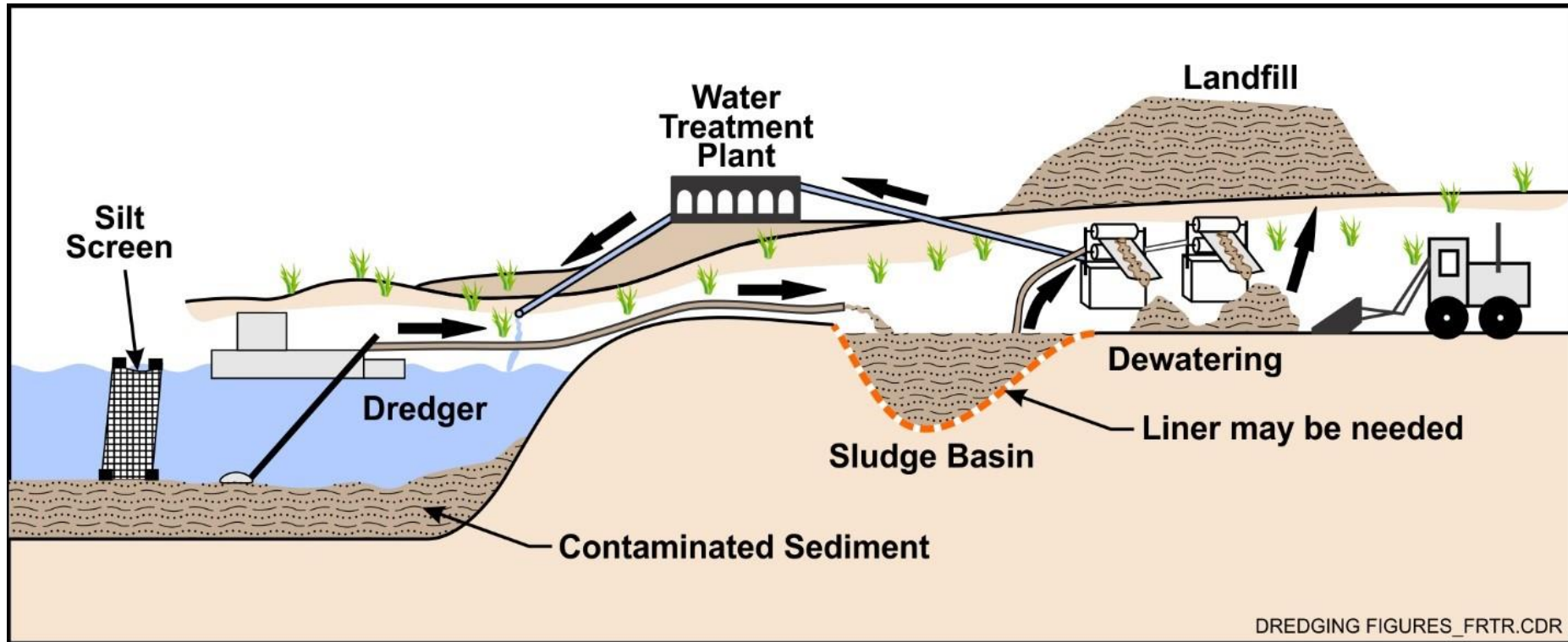
- Il dragaggio dei sedimenti, quando contaminati, determina un problema di gestione.
- Vi è un crescente interesse nella ricerca di nuove soluzioni per sedimenti contaminati provenienti dai dragaggi (diminuzione delle aree di stoccaggio e dell'accettazione da parte dell'opinione pubblica, costi crescenti).
- La normativa esistente è alquanto complessa e spesso al confine tra acqua, suolo e rifiuti.
- A livello europeo non vi è comune normativa nei confronti del materiale proveniente da dragaggi.
- L'approccio legato all'applicazione di limiti o livelli soglia è restrittivo!
- Necessità di sviluppare un approccio integrato (es. speciazione, mobilità, biodisponibilità, ecc.)

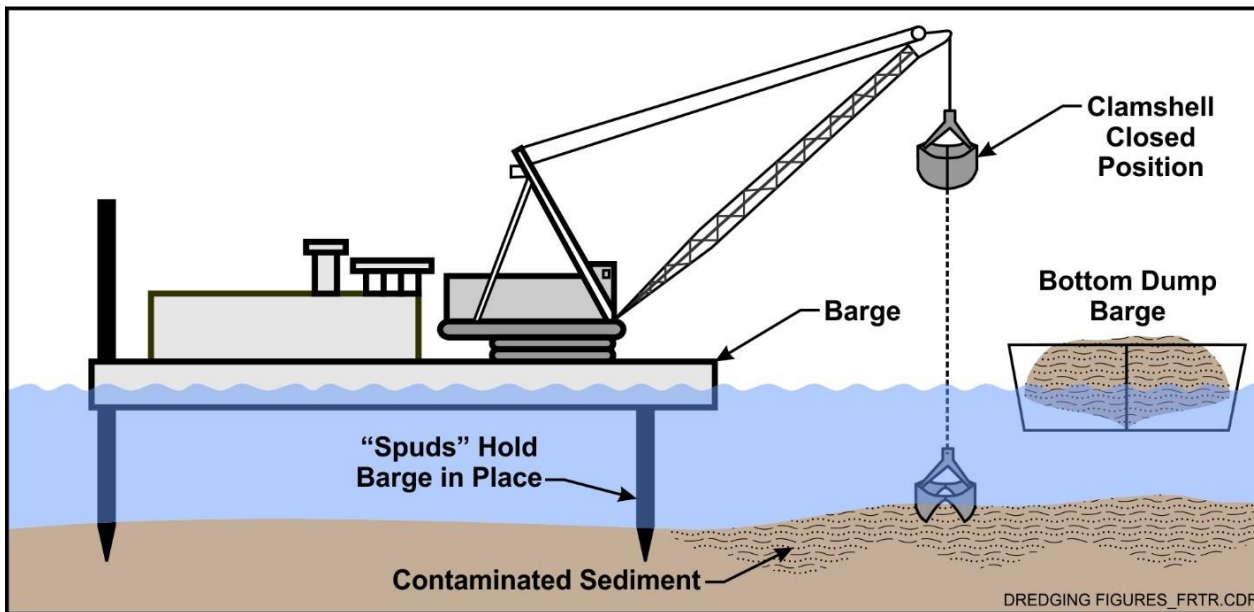
Gestione dei sedimenti: quali le opzioni?

confinamento, dragaggio e/o trattamento dei materiali?

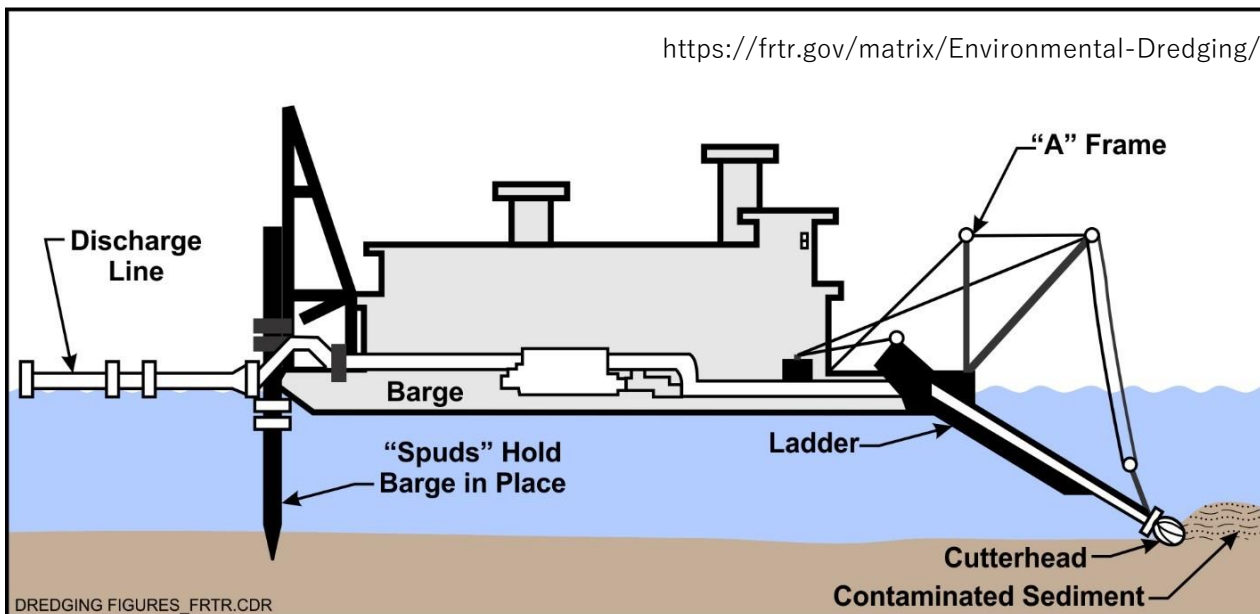


Example of Dredging, Dewatering and Water Treatment Process





Schematic of Mechanical Dredge and Haul Barge



Schematic of Hydraulic Dredge and Pipeline









Water injection dredging



E' un metodo di dragaggio che utilizza getti d'acqua sviluppato da una società olandese (<https://www.vanoord.com>). La tecnica consiste nell'iniettare grandi quantità di acqua, a bassa pressione, in sedimenti di limo o sabbia fine riportandoli in sospensione.

Questa azione rompe la coesione tra i grani permettendo al sedimento di formare una miscela con l'acqua iniettata. La miscela si trasforma in una corrente di densità, che, essendo un fluido, si muoverà sotto l'influenza della gravità e dei gradienti di densità. Grandi quantità di sedimenti possono essere spostate in questo modo in un breve lasso di tempo.



Gestione dei sedimenti dragati: quale soluzione?

In ordine di “preferenza”:

1. Ricollocazione

Se la ricollocazione non è desiderabile o impossibile per motivazioni di ordine ambientale, morfologico o di spazi disponibili, si possono applicare alcune opzioni alternative:

2. Impiego “utile”

2.1 diretto (sedimento non trattato)

2.2 post-trattamento

3. Confinamento (es. discarica o cassa di colmata)

Gestione dei sedimenti: soluzioni *ad hoc* sito specifiche

Esistono numerose tecnologie di trattamento, non un'unica soluzione!

Gli aspetti da considerare sono molteplici e la scelta per la soluzione più appropriata va valutata caso per caso.

Se i sedimenti sono contaminati, prima di decidere la loro destinazione sono da considerare alcuni aspetti:

- Valutazione sul sedimento, se cioè il dragaggio è la soluzione necessaria per effetto di un rischio ambientale non accettabile oppure per mancanza di alternative (es. interrimento canali, ampliamento aree portuali).
- Stima della fattibilità dei differenti trattamenti, considerando sia le condizioni locali che le normative.
- Confronto tra le differenti filiere di trattamento al fine di supportare al meglio la decisione finale.

TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO

Le tecnologie di trattamento per i sedimenti contaminati possono essere applicate *in situ* o *ex situ* e possono essere raggruppate in 3 tipologie:

Trattamenti biologici: si basano sulla biodegradazione, cioè sull'ossidazione biologica della sostanza organica. Tale tecnologia sfrutta la capacità di funghi e batteri di degradare composti organici complessi in forme più semplici: è un processo che avviene naturalmente nei terreni e nei sedimenti contaminati in presenza di inquinanti organici (**biorisanamento naturale**), ma può anche essere indotto somministrando appositamente i microrganismi necessari (es. **batteri**).

Trattamenti chimico-fisici: sono differenziabili in processi di natura fisica, in cui viene favorita la separazione di una certa componente solida del sedimento a cui sono associati i contaminanti, e processi di natura chimica, in cui viene modificata la struttura chimica dei contaminanti con formazione di composti meno tossici o più facilmente separabili dalla matrice del sedimento e, infine, processi di natura elettrochimica e chimico-fisica.

Trattamenti termici: operano con la rimozione, distruzione o immobilizzazione di un'ampia gamma di contaminanti organici ed inorganici presenti nei sedimenti; in generale si parla di **desorbimento termico** e di **termodistruzione** quando le temperature di trattamento sono, rispettivamente, inferiori a 550–650°C e comprese tra 600°C e 2000°C.

Trattamento dei sedimenti dragati: quale soluzione?

Le tecniche di trattamento e ricollocazione dei sedimenti sono conosciute e diffuse in ambito mondiale.

Derivano spesso da esperienze relative a trattamenti sui suoli e dall'industria mineraria e sono adattate ai sedimenti.

Da cosa dipende l'applicabilità o meno di una tecnica?

- Caratteristiche fisico-chimiche dei sedimenti.
- Relazione tra granulometria e contaminazione dei sedimenti: più le particelle sono fini e maggiore il contenuto di sostanza organica nei sedimenti, più elevato sarà il grado di contaminazione.

Processing Principle	
1. Relocation	1. Open water disposal
	2. Injection dredging
2. Mechanical separation	1. Classification
	2. Sorting
3. Dewatering	1. Evaporation
	2. Mechanical dewatering
4. Contaminant separation	1. Chemical extraction
	2. Thermal desorption
5. Contaminant destruction	1. Biological reduction
	2. Chemical oxidation
	3. Thermal oxidation
6. Contaminant immobilization	1. Chemical immobilization
	2. Thermal immobilization
7. Disposal	1. Sub-aquatic confined disposal
	2. Upland disposal

modif. da Bortone et al. (2004), J Soils & Sediments

Trattamento dei sedimenti dragati: quale soluzione?

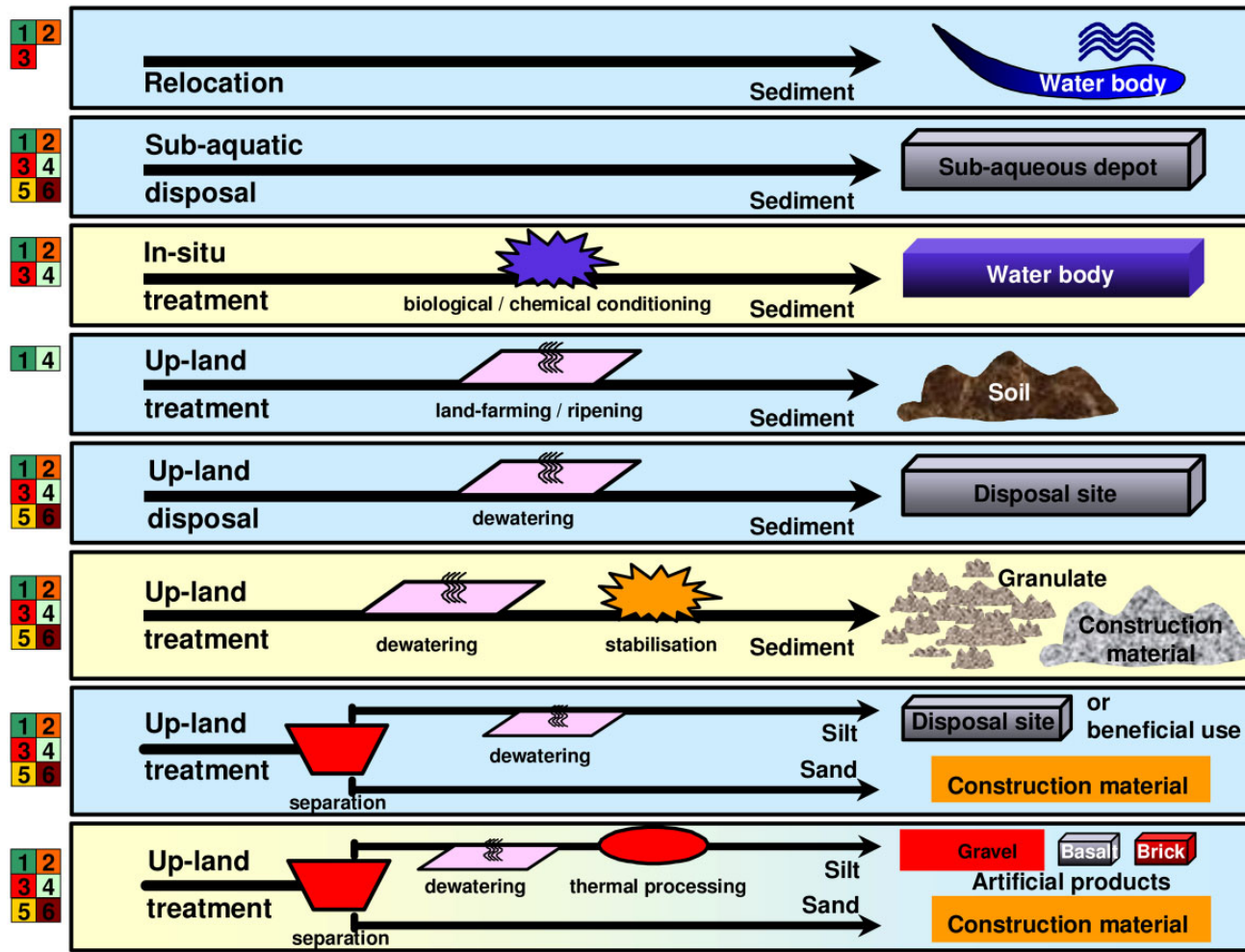
Sulla base del tipo di sedimento, del livello di contaminazione e del tipo di contaminanti!

Process principle	Type of sediment			Level of contamination			Type of contamination	
	Silty	Silty / Sandy	Sandy	Low	Medium	High	Organic	In-organic
1.1. Open water disposal	+	+	+	+	+/-	-	+	+
1.2. Injection dredging	+	+/-	-	+	+/-	-	+	+
2.1. Classification	+/-	+	+	+	+	+	+	+
2.2. Sorting	+/-	+	+	+	+	+	+	+
3.1. Evaporation	+	+	+	+	+	+	+	+
3.2. Mechanical dewatering	+	+	+	+	+	+	+/-	+
4.1. Chemical extraction	+	+	+	+/-	+	+	-	+
4.2. Thermal desorption	+	+	+	+/-	+	+	+	-
5.1. Biological reduction	+/-	+	+	+	+	+/-	+	+/-
5.2. Chemical oxidation	+	+	+	+/-	+	+	+	-
5.3. Thermal oxidation	+	+	+	+/-	+	+	+	-
6.1. Chemical immobilisation	+	+	+/-	+	+	+	+/-	+
6.2. Thermal immobilisation	+	+	+/-	+	+	+	+/-	+
7.1. Sub-aquatic disposal	+	+	+	+	+	+	+	+
7.2. Upland disposal	+	+	+	+	+	+	+	+

+ Process is technically available or not negatively affected

+/- Process is technically mostly available or mostly not negatively affected

- Process is technically not available or negatively affected



- 1 All types, clean
- 2 Sandy / silty, moderate
- 3 silty, moderate
- 4 Sandy, PAHs/oil
- 5 Sandy / silty, rich cocktail
- 6 silty, rich cocktail

State of the art

State of the scientific and technical knowledge

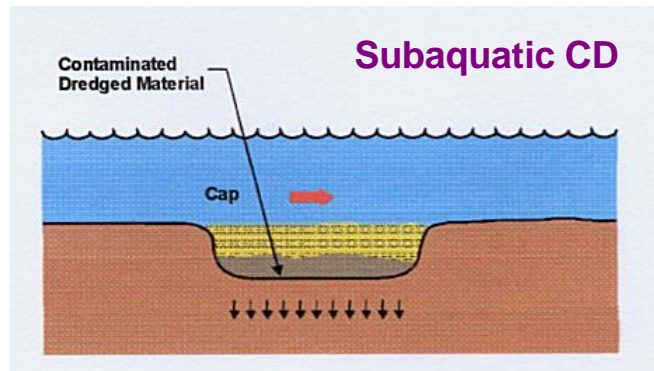
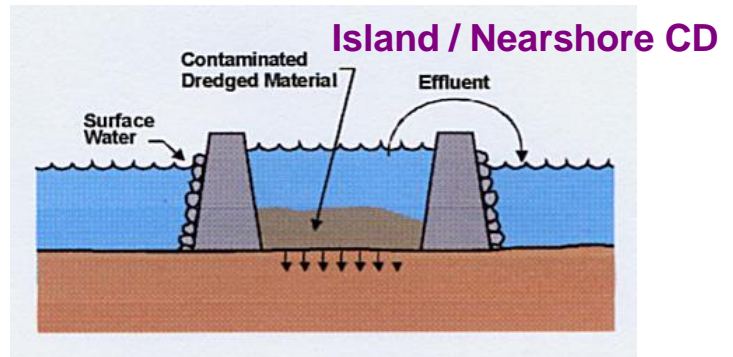
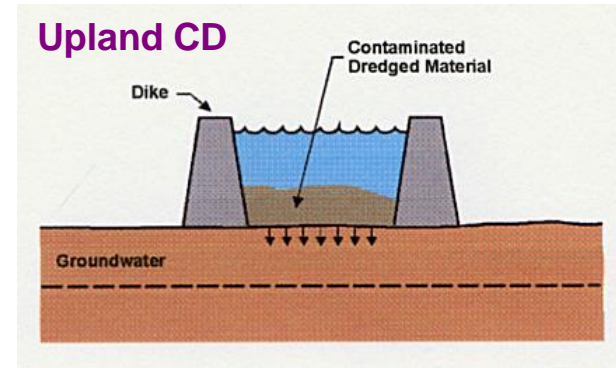
total cost

Confinamento (Confined Disposal)

Terrestre – 1) il carico idraulico dell'acqua agisce in modo da provocare potenzialmente un deflusso nella falda sottostante; 2) il materiale contaminato può, una volta essiccato ed ossidato, aumentare la capacità di rilascio dei contaminanti.

Marino costiero – la struttura di confinamento è ubicata in acqua ed il materiale è stoccato parzialmente sotto il l.m.m., talvolta con l'escavazione del fondale per aumentare la capacità d'invaso; effluenti da controllare nel tempo!

Subacqueo – materiale stoccato totalmente sotto la superficie marina, sotto una copertura ("capping"); le pressioni al di sotto della struttura sono simili a quelle circostanti quindi non vi è alcun flusso d'acqua; da considerare l'impatto con gli organismi acquatici durante le operazioni di messa a dimora.





Caso studio: IJseeloog Confined Disposal Facility (subaquatic)

Lake Ketelmeer (Paesi Bassi)

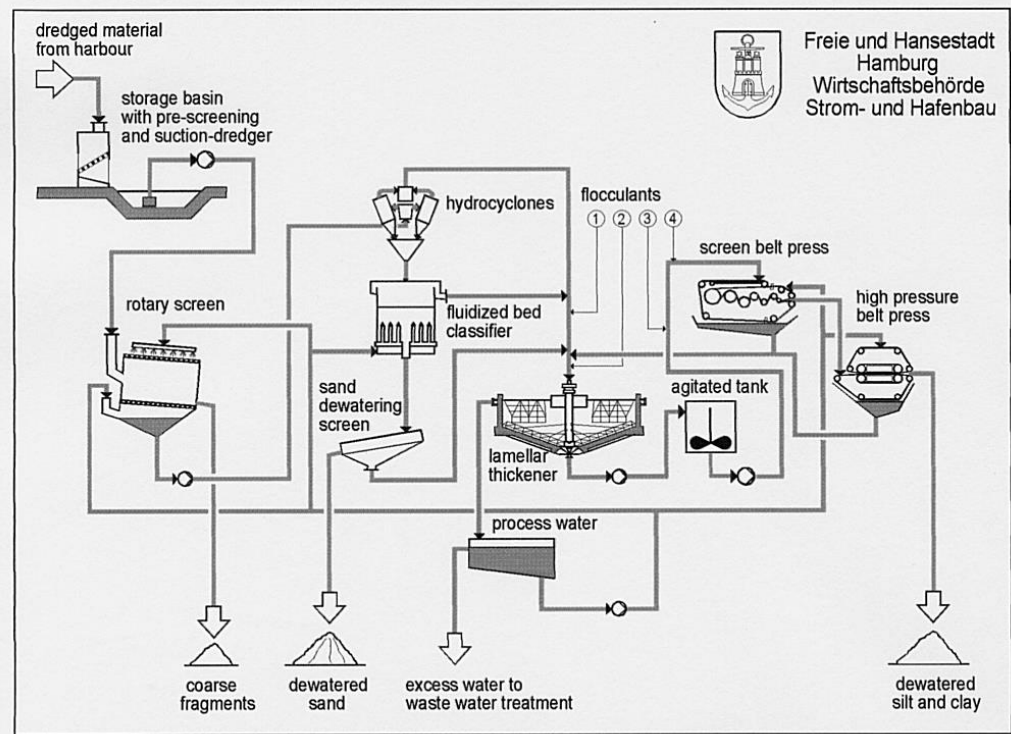
- Contaminazione da reflui industriali con PCB, IPA e metalli (1950-90)
- L'idea: struttura circolare per lo stoccaggio di sedimenti contaminati.
- Altezza dei degli argini di contenimento: 10 m.
- Profondità della fossa scavata 45 m
- Capacità di invaso: 23 milioni m³
- Strato di argilla di 1 m alla base della fossa
- Sottobacini per la separazione del materiale più sabbioso (sabbia > 50-70 %)



Caso studio: MEHTA (MEchanical Treatment of HARbour Sediments) plant

Porto di Amburgo (Germania)

Figure 2, Simlified flow sheet of the METHA plant for dredged material treatment.



da Deztner et al.. (1995), Europ. Water Poll. Contr.

- Scopo: separare la frazione più fine e più contaminata di sedimento dragato dal fiume Elba
- Il trattamento (1): separazione della sabbia ($> 63 \mu\text{m}$) con idrocycloni, della sabbia fine ($< 150 \mu\text{m}$), del silt ($> 20 \mu\text{m}$);
- Il trattamento (2): deidratazione della sabbia con setacci a vibrazione e filtri a vuoto, e del silt con presse.
- il destino finale: confinamento in depositi a terra del silt contaminato, riutilizzo della sabbia e del silt non contaminati.
- Capacità dell'impianto: 1 M di m^3 di materiale dragato (50% di silt/argilla) l'anno pari a 500 Kt di sostanza secca.

IMPIEGHI UTILI e PRINCIPALI RECUPERI

- ❖ Difesa della costa, arginature dei canali, ecc.
- ❖ Ingegneria civile: infrastrutture portuali (banchine, terrapieni, casse di colmata) e sottofondi stradali.
- ❖ *Topsoil* per recuperi paesaggistici ricoprimento di discariche, attività ricreative e sportive (campi golf e parchi pubblici).
- ❖ Materiali da costruzione: aggregati tipo lapidei, mattoni, cemento, materiali vetrificati.



Caso studio: *Thermal immobilization* e produzione di mattoni

Amburgo (Germania)

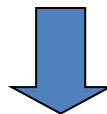
- Processo: utilizza 30,000 t di silt (con sostanza organica al 50-55%) proveniente dall'impianto METHA in sostituzione di argilla naturale.
- Produttività: 5 Milioni di mattoni/anno
- Fruibilità: costruzioni commerciali ed industriali.
- Costi d'investimento: 45 M € per 200,000 m³ di sedimento deidratato (15 – 20 €/ m³ *in situ*) ammortizzabili in 20 anni, qualora la vendita del prodotto sia garantita.
- Mercato: necessaria una politica "aggressiva" di marketing.



Trattamento dei sedimenti dragati: quali limitazioni?

La valutazione sulle opzioni di trattamento e ricollocazione sulla base di considerazioni sulla loro **sostenibilità** richiede l'applicazione (ed in alcuni casi lo sviluppo) di **strumenti per integrare in un'unica strategia criteri economici, ambientali e sociali** ...ma anche informazioni rilevanti per supportare il processo decisionale (es. concentrazioni dei contaminanti, test di biodisponibilità, energia consumata, ecc.)

Esistono delle limitazioni!

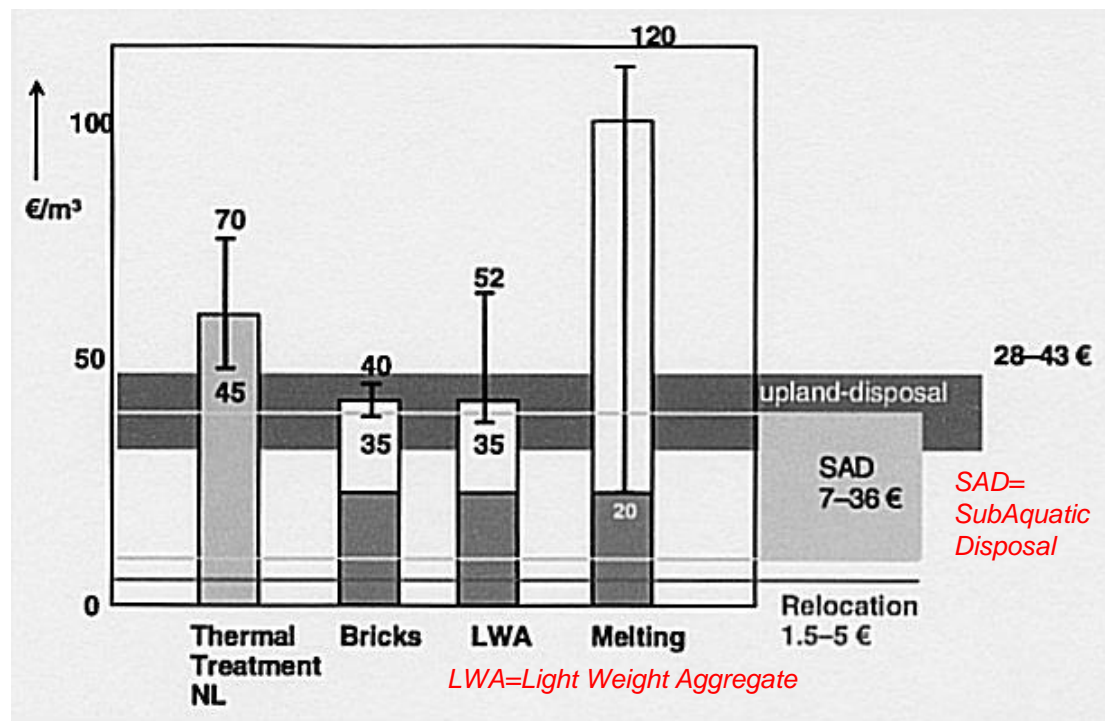


1. Economiche
2. Sociali
3. Ambientali

Trattamento dei sedimenti dragati: 1. limitazioni economiche

I **costi** hanno un'importanza significativa a seconda dei trattamenti prescelti! Dipendono molto dalle singole circostanze con ampia variabilità.

Le tecniche semplici, quali la separazione fisica della sabbia e il *landfarming/ripening*, sono generalmente poco più care della ricollocazione (*disposal*), mentre per le tecniche di stabilizzazione o di immobilizzazione termica i costi sono significativamente più elevati.



da Bortone et al. (2004), J Soils & Sediments

Bisogna considerare se i prodotti riutilizzabili dopo trattamento hanno mercato!

Trattamento dei sedimenti dragati: 2. limitazioni sociali

Oltre ai costi sostenibili, è fondamentale l'accettazione della soluzione prescelta da parte dell'opinione pubblica.

Le differenti opzioni di trattamento possono essere valide dal punto di vista ambientale così come da quello economico.

Tuttavia, l'opinione pubblica può essere contraria alla presenza di un terrapieno o cassa di colmata (*disposal*) sul territorio ("NIMBY" opinion) così come i prodotti "in uscita" dai processi di trattamento possono non avere successo.

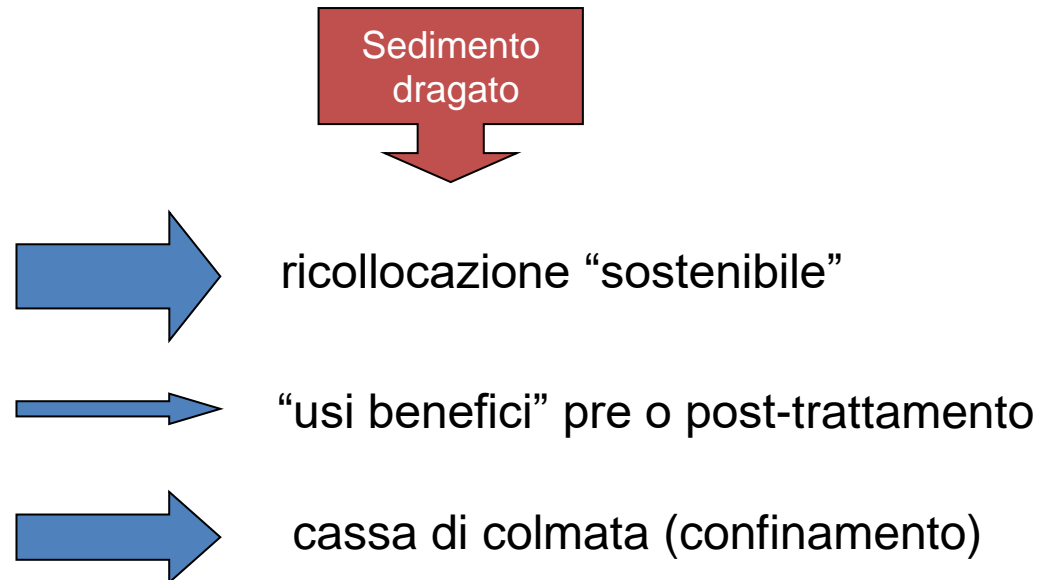
Una delle prime considerazioni da fare è:

“Alla fine del trattamento prescelto per il materiale dragato, il prodotto ottenuto, sia esso sabbia o mattoni, sarà accettato dagli usufruttori pubblici e privati?”

Trattamento dei sedimenti dragati: 3. limitazioni ambientali

Un principio generale è che il dragaggio ed il trattamento dovrebbero essere gestiti il più possibile in linea con i processi naturali.

Questo significa che le opzioni favorite per la gestione del materiale dragato devono essere le più “naturali” possibile, quali la ricollocazione ed il riutilizzo, ad esempio, come suolo “fertile”.



In situ

Trattamenti	Applicabilità	Esperienza passata	Rapporto impatti/benefici	Aspetto economico	Aspetto sociale
<i>chemical techniques</i> +++	ampia	lunga esperienza	molto buono	costi contenuti	impatto minimo
<i>biological techniques</i> +	solo composti organici	esperienza negativa	a lungo termine, rischio migrazione inquinanti	costi contenuti 15 e 30 €/m³.	accettato se viene dimostrata la non pericolosità
<i>physical techniques</i> ++	se stabilizzano e isolano gli inquinanti	ampia esperienza	bassi impatti ambientali bassi costi e alta efficienza	costi quasi esigui solo 3-4 €/m²	accettato grazie a buon rapporto costo/resa
<i>separation</i> ++	molto ampia	molti anni di esperienza	abbastanza buono	costi contenuti tra i 3 e gli 11 €/m³	
<i>natural dewatering</i> +++	ampia applicabilità preferisce granul. grosse	lunga esperienza	impatti nulli	costi minimi tra 10 e 25 €/m³	rare opposizioni per ignoranza dei processi
<i>mechanical dewatering</i> +++	ampia applicabilità	lunga esperienza	impatti nulli se paragonati ai benefici	costi, 10 e 30 €/ m³ strutture fisse, 12 e 35 €/ m³ nelle mobili.	
<i>thermal desorption</i> +++	inquinanti volatilizzabili entro i 650 °C	esperienza notevole	abbastanza buono	costi contenuti pari a 50-70 €/ton	
<i>thermal bricks</i> ++	sedimenti scarsamente inquinati	buoni esempi dalla germania e dall'olanda	gli impatti sono minimi se paragonati ai benefici	costi non competitivi tra 15 e 30 €/m³	pienamente accettata
<i>thermal light-weight aggregates</i> ++	sedimenti fini, con poca sabbia, i più indicati	su larga scala scarsa	impatti minimi e buoni benefici	costi tra 15 e 32 €/m³	abbastanza accettati
<i>thermal artificial basalt</i> +	materiali per lo più siltosi	esperienza negativa	alti costi e bassa resa	circa 70 €/m³	scarso successo
<i>thermal cement</i> +++	incredibile adattabilità	molto positiva	ottimo rapporto impatti /benefici	capaca di autofinanziarsi	abbastanza accettato visti i benefici
<i>washing extaction</i> ++	tutti i materiali e le tipologie inquinanti	affidabilee utilizzata fin dal 1993	impatti trascurabili rispetto ai benefici	il costo è variabile in relazione alla produzione ~100 €/m³	molto ben accettato
<i>chemical stabilisation</i> +++	quasi sempre applicabile	un'esperienza pluriennale ne certifica l'attendibilità	buon rapporto impatti/benefici	sono compresi fra 23 e 45 €/m³	accettazione subordinata alla comprensione
<i>biological bioreactors</i> +	sempre applicabile	applicato su scala locale	impatti/benefici buon rapporto, ma costi alti	abbastanza costosa >100 €/m³	buona accettazione dalla società
<i>biological landfarming</i> +++	quasi sempre applicabile	un'esperienza pluriennale dà garanzie di resa	buon rapporto impatti/benefici	costi contenuti sui 20 €/m³.	buona accettazione da parte della società
<i>biological phytoremediation</i> +++	quasi sempre applicabile	un'esperienza pluriennale	zero impatti, costi contenuti e buona resa		molto ben accettato
<i>confined disposal up-land</i> +++	applicabile per sedimenti troppo inquinati	molto utilizzata	impatto minimo se progetto valido	costi dai 10 ai 75 €/m³.	scarso accettazione subordinata
<i>confined disposal sub-acquatic</i> +++	applicabile per sedimenti molto inquinati	molto utilizzata	impatto minimo se progetto valido	costi di 10 €/m³.	scarso accettazione subordinata

Ex situ