

CONDIZIONAMENTO BIOFISICO E RECUPERO DEI SEDIMENTI MARINI: UNA SFIDA POSSIBILE

Veronica Bianchi

Università di Pisa
Dipartimento di Ingegneria Civile

Indice

1. Il caso di studio del porto di Livorno: la sfida possibile
 - Situazione attuale
 - Obiettivo generale
2. La tecnica di fito-trattamento
3. La sperimentazione su mesoscala
4. L'impianto pilota (CNR-ISE)
5. Risultati raggiunti
6. Analisi di rischio associata alla tecnica di fito-trattamento
7. Elaborazione statistica dei dati
8. Conclusioni

Il caso di studio del porto di Livorno: la sfida possibile

• Situazione attuale

- Sito contaminato di interesse nazionale
- Piano di caratterizzazione del porto
- Il protocollo

Concordato col Ministero dell'Ambiente, prevede la possibilità di collocare nel bacino sedimenti con contaminazione inferiore al 90% dei limiti per siti ad uso commerciale e industriale di cui alla Tabella 1, allegato 5 del D.Lgs 152/2006. Il materiale dragato che supera i limiti per i soli idrocarburi, viene sottoposto a trattamento biologico mediante batteri selezionati prima della collocazione nel bacino (67 €/m³). In caso di superamento anche del limite per i metalli pesanti viene conferito in discarica. In caso di rispetto di entrambi i parametri può essere collocato nel bacino senza trattamento (25 €/m³). Il bacino di accumulo è confinato nel tratto di mare adiacente al porto, completamente impermeabilizzato. Il bacino, del volume utile di circa 1,5 milioni di m³, è stato completamente riempito in circa 2 anni di attività di dragaggio.

Il caso di studio del porto di Livorno: la sfida possibile

- **Obiettivo generale:**

Applicare la tecnica di **fitorimediazione** per la decontaminazione di sedimenti marini derivanti da attività di dragaggio, al fine di trasformarli in una matrice non contaminata, dalle peculiarità di un suolo agronomico (**tecno-suolo**), ricollocabile a terra.



Vasca di accumulo interna al porto (stoccaggio)



Suolo agronomico (target point)

La tecnica di fito-trattamento

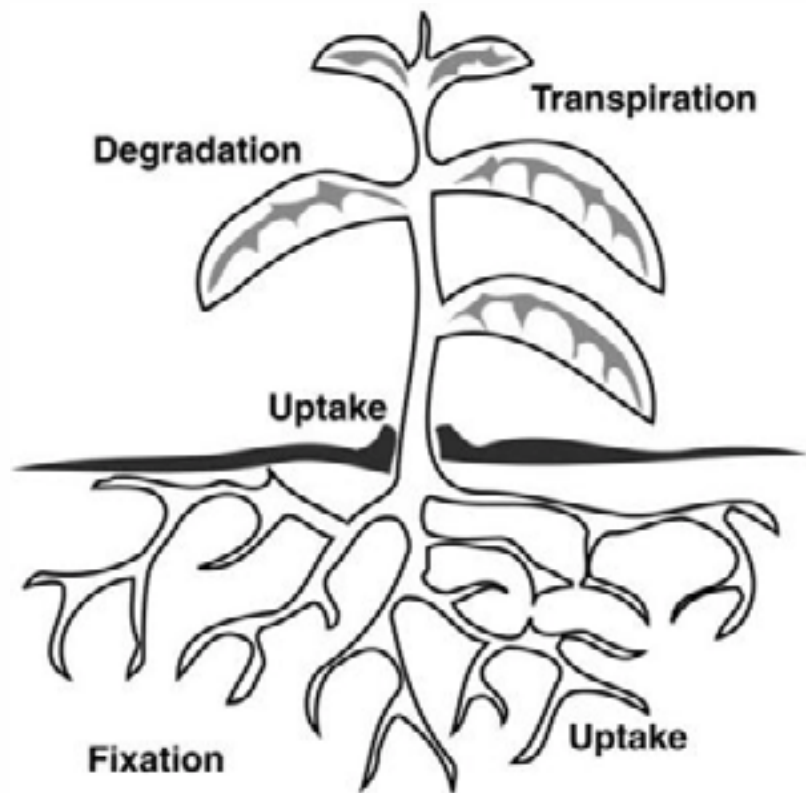
Phytoremediation (USEPA 1999)

La pianta agisce direttamente su metalli e composti organici: assorbimento, immagazzinamento, e traslocazione dal suolo ai tessuti vegetali.

La rizosfera riduce la mobilità dei contaminanti (mediante stabilizzazione) e la loro concentrazione (mediante rimozione).

Composti organici: la rizosfera può degradarli con la secrezione di particolari enzimi; o assorbirli e metabolizzarli completamente (mineralizzazione).

La pianta può agire anche mediante i microrganismi a contatto col suo apparato radicale: ottimizzano l'interazione col metallo o degradano il contaminante organico per procurarsi energia.



Fonte: USEPA, 1999

La sperimentazione su mesoscala

Pre-condizionamento fisico/chimico:

Necessario date le caratteristiche del sedimento, al fine di creare un idoneo substrato di crescita per le essenze vegetali:

- a) Sedimento : terra di scavo (5:1 v/v) $\rightarrow K_0 = 10^{-6} \text{ m/s}$ $K = 10^{-3} \text{ m/s}$
- b) Dilavamento del sedimento, per portare la salinità a livelli tollerati dalle piante opportunamente selezionate (3 mS/cm).
- c) Applicazione di compost vegetale in superficie (1:1 v/v)

2. Selezione delle essenze vegetali:

Effettuata mediante lo sviluppo di uno strumento decisionale per la gestione di casi multivariati (Analisi Multi-criteria). Si considerano:

- a) Livello di salinità (5 mS/cm);
- b) Tipo di contaminazione (metalli pesanti ed idrocarburi del petrolio);
- c) Tessitura (limoso-argillosa).

L'impianto pilota (CNR-ISE)

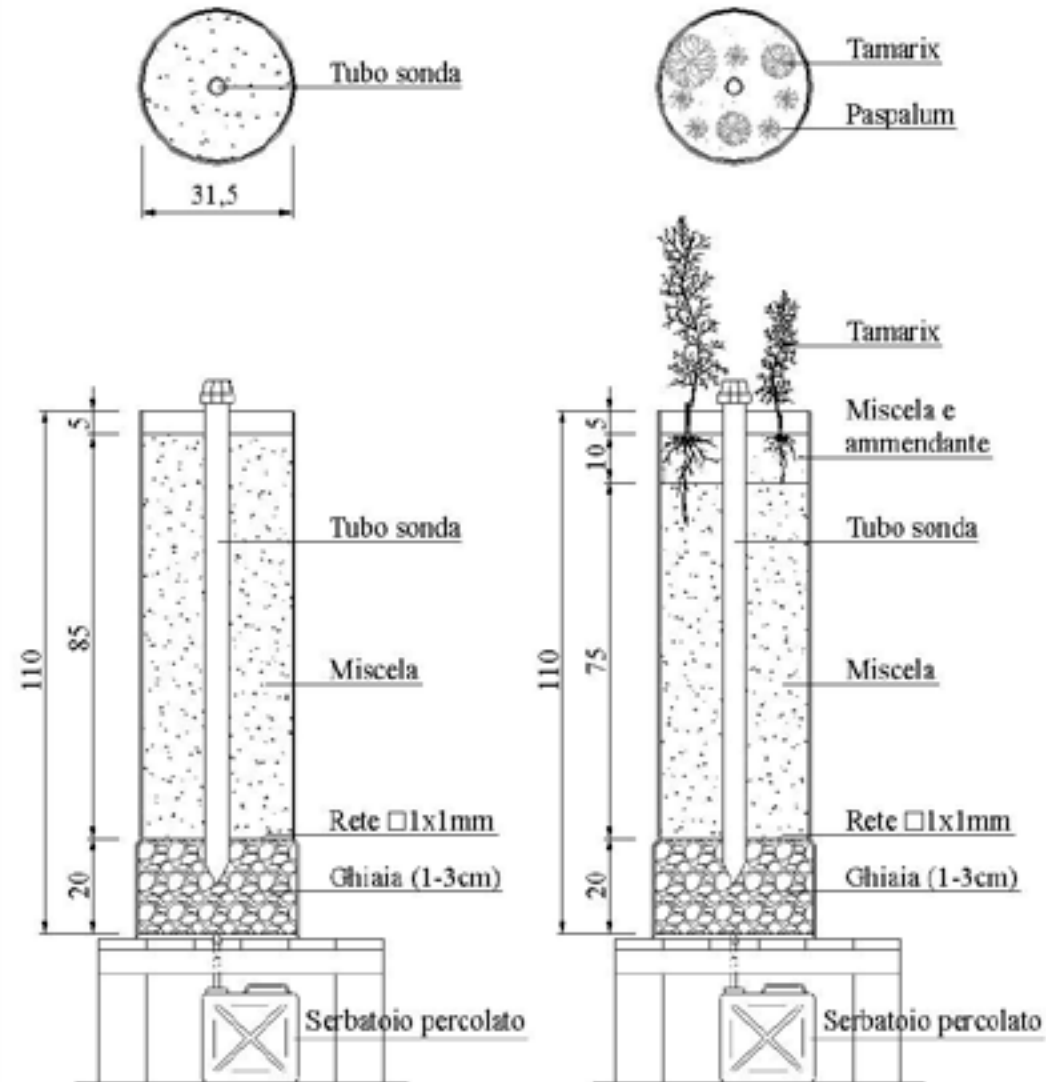
Trattamento P (Piante)



Trattamento L (Lombrichi)



Trattamento PL (Piante + Lombrichi)

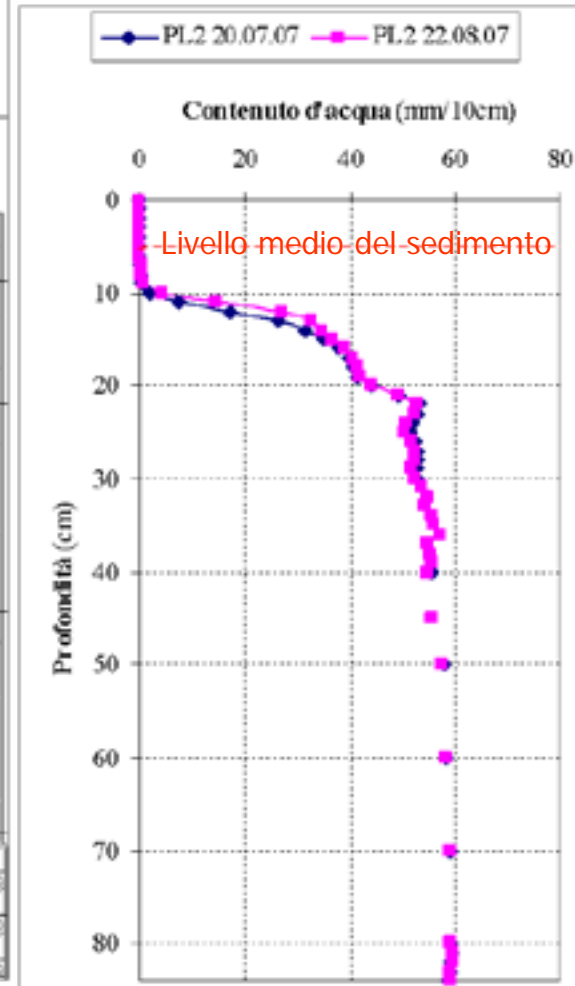
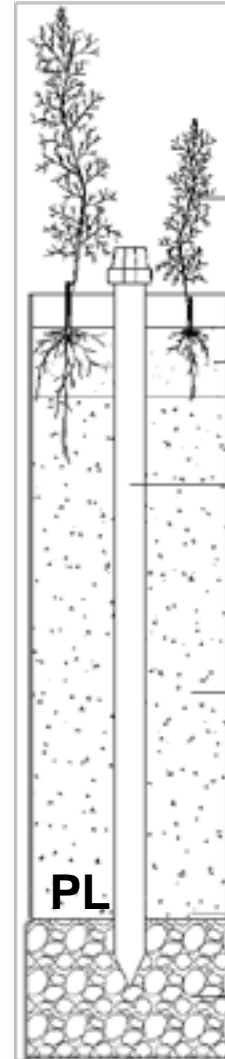
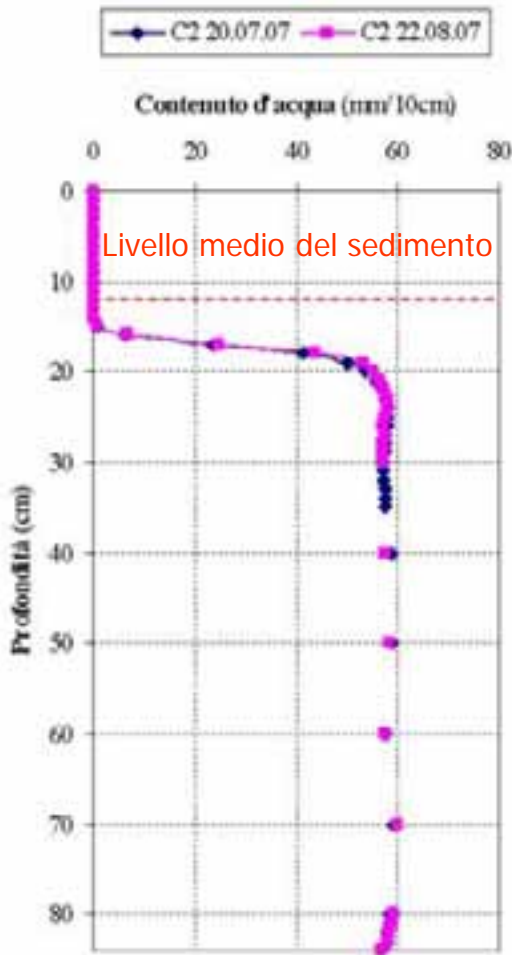
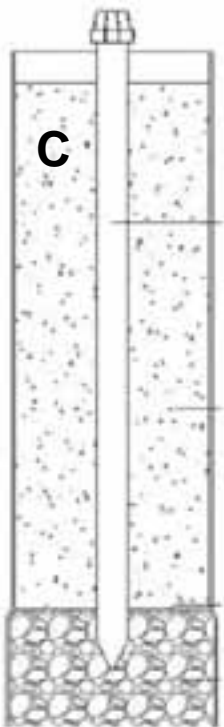


Risultati raggiunti

Idraulica: misure di umidità

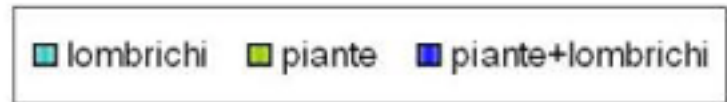
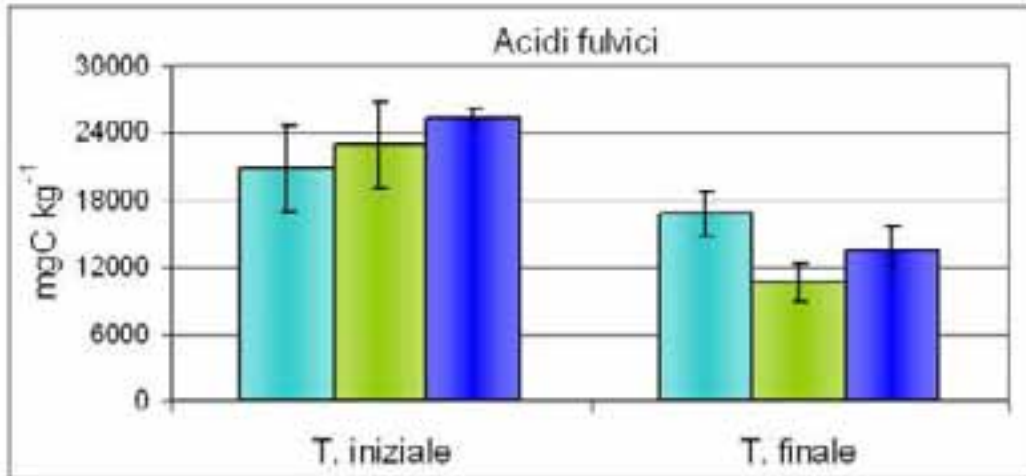
$$K_0 = 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$K = 10^{-3} \text{ m/sec}$$

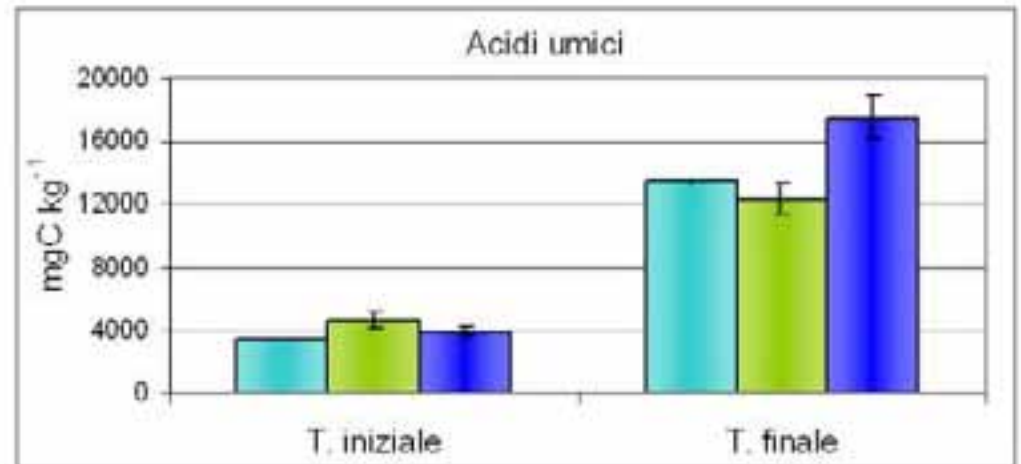


Risultati raggiunti

Sostanze umiche (chelanti naturali)

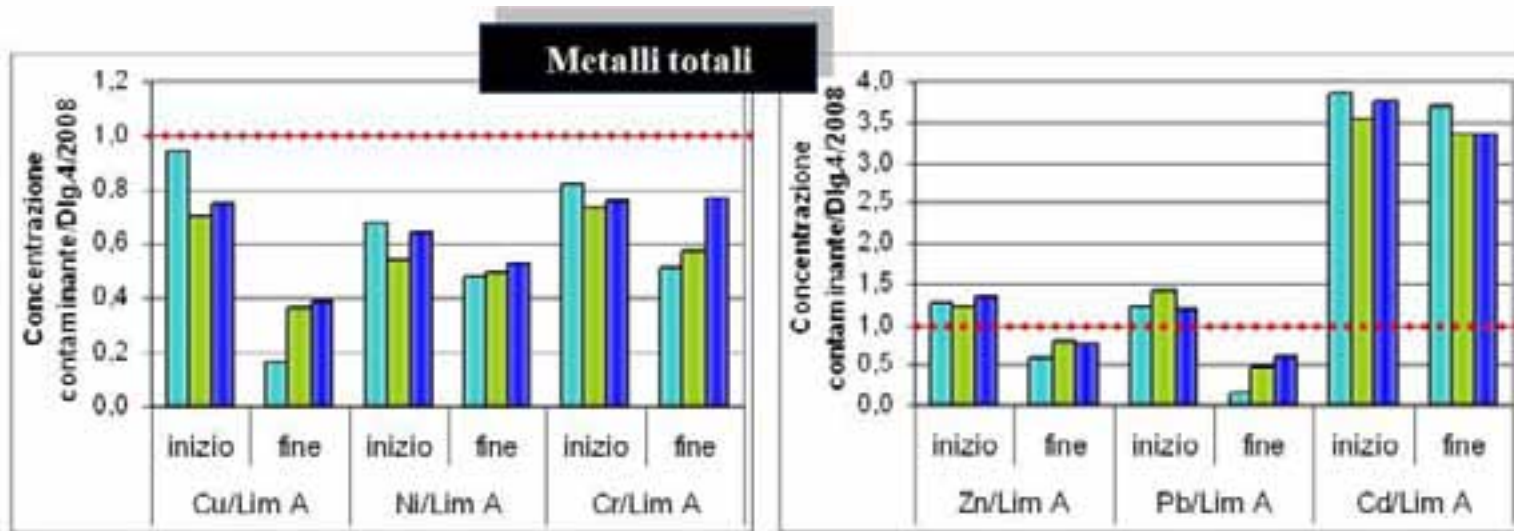


Aumentano nel tempo gli **acidi umici** che solubilizzano (chelazione) i metalli pesanti, rendendoli più disponibili per la pianta; tuttavia potrebbero anche essere trattenuti e competere quindi con la radice.

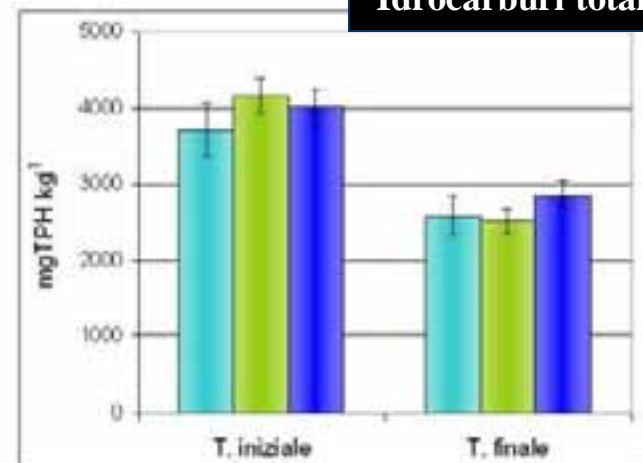


Risultati raggiunti

Contaminanti inorganici e organici



Idrocarburi totali



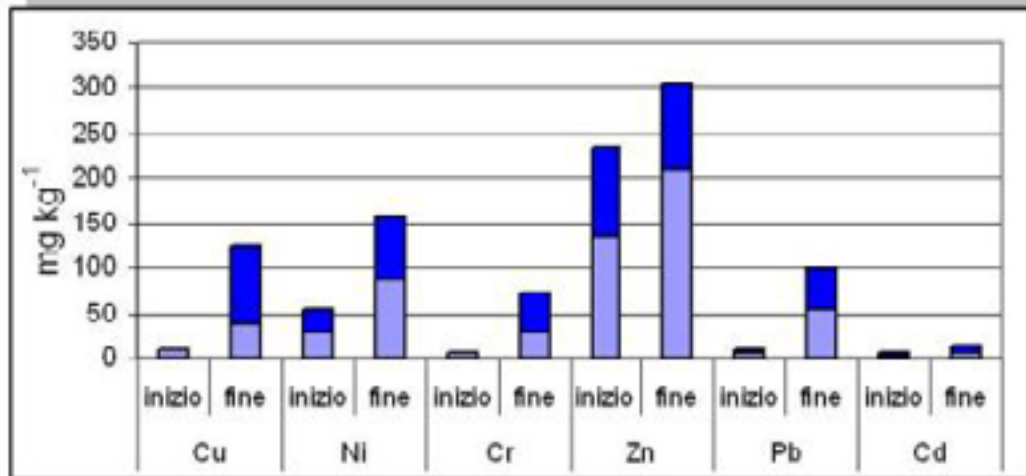
Concentrazioni soglia imposte dal D. Lgs. 4/2008

| | Cu | Ni | Cr | Zn | Pb | Cd | C<12 | C>12 |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|------|----|------|------|
| Usa A (mg kg ⁻¹) | 120 | 120 | 150 | 150 | 100 | 2 | 10 | 50 |
| Usa B (mg kg ⁻¹) | 600 | 500 | 800 | 1500 | 1000 | 15 | 250 | 750 |

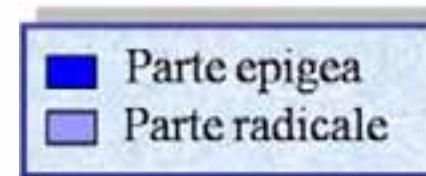
Usa A – verde pubblico e residenziale; Usa B – area industriale

Risultati raggiunti

Metalli nel *Paspalum vaginatum*

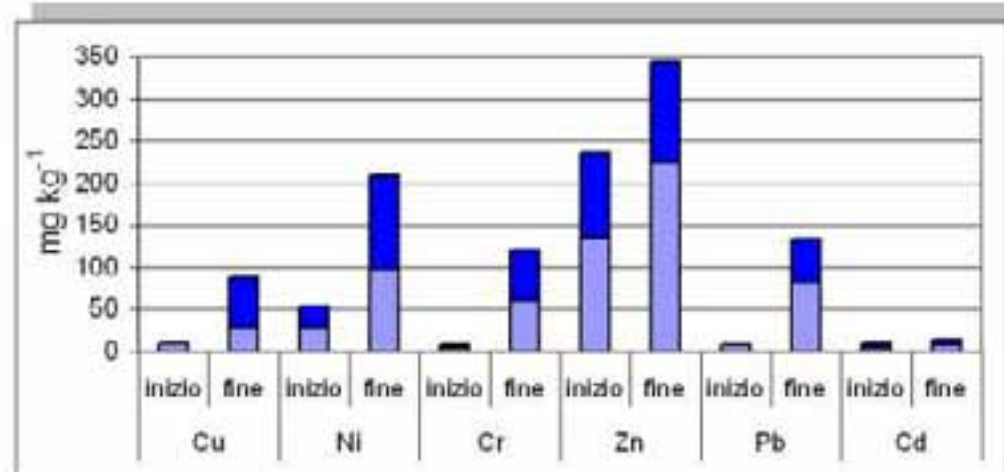


Trattamento con Piante



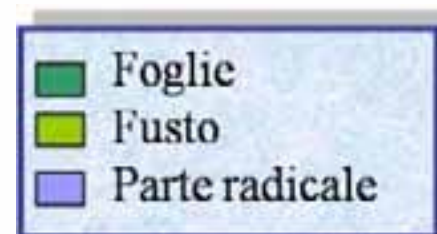
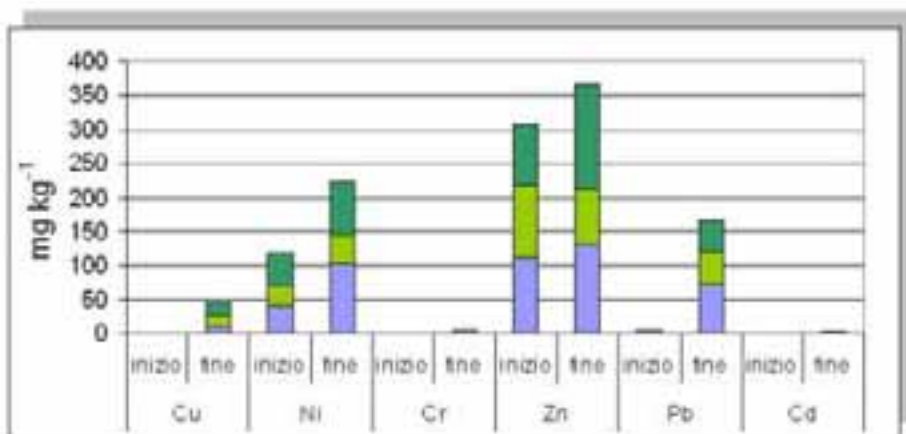
Si nota un accumulo di metallo nei tessuti vegetali in funzione del tipo di metallo, del trattamento e tempo di contatto

Trattamento con Piante e Lombrichi



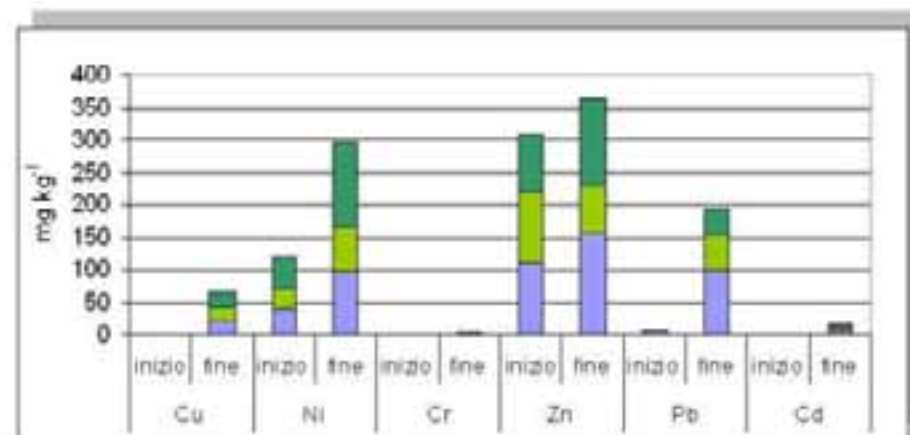
Risultati raggiunti

Metalli nella *Tamarix gallica*



Tattamento con Piante

Analogamente al *P. vaginatum*, anche *T. gallica* assimila metalli in funzione dei trattamenti e tempi di contatto.



Tattamento con Piante e Lombrichi

Analisi di rischio associata alla tecnica di fito-trattamento

Calcolo del rischio (RISC 4.0) – *forward analysis*

A) Accumulo dei sedimenti nella vasca di stoccaggio interna al porto di Livorno (situazione reale)

B) Fito-trattamento *off-site* dei sedimenti

Sorgente: suolo superficiale.

Meccanismi di trasporto: erosione del vento, volatilizzazione e dispersione dei vapori.

Vie di esposizione: suolo superficiale, aria outdoor.

Modalità di esposizione: (A) ingestione suolo, contatto dermico; (B) ingestione suolo e vegetali, contatto dermico, (A e B) inalazione di polveri e vapori.

Ricettore: (A) adulti, lavoratori; (B) adulti e bambini area residenziale.

Sostanze non cancerogene (rischio cumulato): $HQ_{tot} < 1$ (APAT, 2006):

| | | |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Caso peggiore = (A) | Contatto dermico = 1.7 | Inalazione di vapori = 25 |
| Caso (B) | Ingestione di vegetali = 1.4 | Inalazione di vapori = 0.98 |

Analisi di rischio associata alla tecnica di fito-trattamento

• Calcolo degli obiettivi di bonifica – *backward analysis*

| Contaminanti | (A) | | | | (B) | | | |
|--------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|
| | Limiti DL _{gs} 152/06 Uso B | Sedimento Superficiale CRS mg/kg _{dw} | Aria Outdoor SSTLs mg/kg _{dw} | SSTLs mg/kg _{dw} | Limiti DL _{gs} 152/06 Uso A | Sedimento Superficiale CRS mg/kg _{dw} | Aria Outdoor SSTLs mg/kg _{dw} | SSTLs mg/kg _{dw} |
| Cd | 15 | 13.2 | 5.7 | - | 2 | 3 | 1.9 | - |
| Cr | 800 | 123 | 50 | - | 250 | 58 | 36 | - |
| Ni | 500 | 81 | 33 | - | 120 | 56 | 35 | - |
| Cu | 600 | 85 | 22 | - | 120 | 55 | 53 | - |
| Pb | 1000 | 541 | 220 | - | 100 | 102 | 63 | - |
| Zn | 1500 | 1456 | 590 | - | 150 | 1035 | 640 | - |
| C<12 | 250 | 3191 | 1300 | 95 | 10 | 101 | 62 | - |
| C>12 | 750 | 16461 | 6700 | 490 | 50 | 1000 | 640 | - |

CRS: concentrazione contaminante; SSTL: obiettivo di bonifica

Considerata l'abbondante biomassa vegetale sviluppata sulla matrice da bonificare e quindi la "diluizione" dei metalli nelle parti epigee della pianta, il rischio derivante dall'ingestione di parti vegetali, risulta sovrastimato.

Il fito-trattamento *off site* consente di effettuare, senza alcun rischio ambientale e a costi competitivi rispetto ad altre tecniche di trattamento e smaltimento, un efficace intervento di bonifica di sedimenti marini contaminati da metalli pesanti ed idrocarburi.

Elaborazione statistica dei dati

Stepwise forward regression (Statistica 6.0)

1. Il pre-condizionamento fisico è positivamente correlato all'attivazione microbiologica del sedimento:

$$k = 0.76Dh-ase + 0.69B-glu + 0.48TEC \quad [R^2= 0.76]$$

2. Le sostanze umiche presenti nel sedimento sono capaci di legarsi agli idrocarburi, che possono essere così degradati dai microorganismi:

$$Idrocarburi = 10.2 - 0.58pH - 0.35C/N + 0.4TEC \quad [R^2= 0.87]$$

3. I composti organici prodotti dagli essudati radicali stimolano la solubilità dei metalli, mentre le sostanze umiche li fissano:

$$Metalli\ totali\ (Paspalum + Tamarix) = 26.26 + 0.89WSC - 0.33TEC \quad [R^2= 0.87]$$

Riferimenti: Bianchi, V., Ceccanti, B., 2009. TRIAS-approach in the bioremediation of polluted environmental matrices. Special ISSUE - Toxicological & Environmental Chemistry (*in press*)

Bianchi, V., Masciandaro, G., Ceccanti, B., Peruzzi, E., Iannelli, R., 2008. Phyto-bioremediation of polluted marine sediments: the need of a bio-physical approach. Environment, and Environmental Sustainability (*in press*).

Condizionamento biofisico e recupero dei sedimenti marini: una sfida possibile

• Conclusioni

Il fito-trattamento, che ha previsto l'interazione tra piante-lombrichi-microrganismi si è dimostrato efficace nella rivitalizzazione e ripristino delle funzioni biologiche del sedimento, nonché nel suo miglioramento fisico-strutturale, conferendo alla matrice degradata dal punto di vista geologico e biofisico, i connotati di un suolo agronomico (*tecno-suolo*), ricollocabile a terra, al fine di ripristini ambientali.

Nondimeno, la tecnica studiata fornisce una valida alternativa alla consueta destinazione finale dei sedimenti contaminati (considerati come rifiuti), che consiste nello smaltimento in discarica controllata.

Ciò implica che lo studio presentato, base scientifica per la realizzazione su *full-scale* del progetto europeo AGRIPORT, rappresenta un sostanziale contributo nella definizione delle linee guida per la gestione dei sedimenti contaminati.