



DICEA
Sapienza, Università di
Roma



DICATA
Università degli Studi
di Brescia



DICA
Università degli Studi
di Catania

SiCon 2012 ***Workshop sui Siti Contaminati. Esperienze negli interventi di risanamento***

Taormina
9-11 Febbraio 2012

**Sperimentazione di una tecnica naturale
di decontaminazione di sedimenti marini
di dragaggio per il riutilizzo come terreno
agrario**

Renato Iannelli¹, Veronica Bianchi¹, Brunello Ceccanti²,
Serena Doni², Cristina Macci², Grazia Masciandaro²

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa, via Gabba
22, 56122 Pisa

² Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Consiglio Nazionale delle
Ricerche,
via Moruzzi 1, 56124 Pisa

e mail: r.iannelli@ing.unipi.it

SPERIMENTAZIONE DI UNA TECNICA NATURALE DI DECONTAMINAZIONE DI SEDIMENTI MARINI DI DRAGAGGIO PER IL RIUTILIZZO COME TERRENO AGRARIO

Renato Iannelli¹, Veronica Bianchi¹, Brunello Ceccanti², Serena Doni², Cristina Macchi², Grazia Masciandaro²

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa, via Gabba 22, 56122 Pisa

² Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, via Moruzzi 1, 56124 Pisa

Sommario. La tecnica naturale proposta si basa sull'utilizzo di specie vegetali erbacee e arbustive (*paspalum v.*, *tamarix g.*, *spartium j.*), unite all'utilizzo di ammendanti agronomici, per un duplice fine: decontaminare la matrice (sedimento dragato dal porto di Livorno) e riattivarla dal punto di vista microbiologico. Buoni risultati sono stati ottenuti in termini di adattamento delle piante utilizzate, incremento dei nutrienti e delle attività enzimatiche ad essi associate ed abbattimento dei contaminanti (circa il 20% per i metalli ed il 70% per gli idrocarburi). In termini idraulici, il corretto monitoraggio dell'irrigazione ha permesso di azzerare i volumi di lisciviato, garantendo comunque la capacità di campo ed il decremento della salinità nel medium. L'impianto è stato realizzato su scala prototipo, trattando 80 m³ di sedimento e seguendo la tecnologia AGRIPORT.

INTRODUZIONE

La ricollocazione a terra di sedimenti di dragaggio contaminati rappresenta un possibile obiettivo di riutilizzo dopo l'applicazione di tecniche di bonifica biologiche, quale la fitorimediazione. La composizione granulometrica e la salinità rendono però il sedimento marino poco adatto alla diretta applicazione della tecnica sopraccitata, richiedendo quindi l'applicazione di metodi agronomici ed irrigui

appositamente definiti ed ottimizzati.

Visti gli ingenti quantitativi di sedimenti a debole contaminazione prodotti dalle attività di dragaggio, è opportuno considerare destinazioni alternative alla mera collocazione in bacini di colmata che, se non inclusi in un percorso virtuoso di recupero, rischiano di divenire mere discariche costiere di materiali portuali (Manuale ICRAM-APAT, 2006). A tal proposito, i sedimenti potrebbero essere visti non più come rifiuti di difficile collocazione, ma come materiale da recuperare per un successivo riutilizzo. In questa ottica, è possibile riutilizzare vasche di colmata esaurite come piattaforme di trattamento a basso impatto ambientale, che potrebbero riqualificare di fatto il contesto paesaggistico portuale (grazie alla piantumazione della vasca) assumendo una positiva valenza visiva ed assolvendo una funzione “barriera” che riduca gli impatti delle attività portuali verso le zone esterne. Le vasche si configurerebbero quindi come piattaforme di trattamento *ex-situ* del materiale dragato, da recuperare dopo una verifica puntuale delle caratteristiche qualitative al termine del processo, a partire dalle specifiche proprietà iniziali (caratteristiche granulometriche, composizione mineralogica, natura, livelli e distribuzione della contaminazione).

La sperimentazione qui presentata è un esempio di applicazione di tale tecnica a sedimenti di dragaggio marino debolmente contaminati da metalli pesanti ed idrocarburi, con l’obiettivo di raggiungere, in un tempo di circa 2-3 anni, un livello di contaminazione inferiore ai limiti di legge per suoli civili e verde pubblico, mediante riduzione di circa il 15-20% della concentrazione di alcuni metalli pesanti e di circa il 40-50% degli idrocarburi leggeri e pesanti. Nello stesso tempo si prevede che il sedimento raggiunga caratteristiche di un terreno fertile (tecno-suolo), riducendo il contenuto salino e migliorando la struttura e il contenuto di carbonio e nutrienti (Bianchi et al., 2010).

La tecnica è stata applicata a sedimenti dragati dal porto di Livorno, realizzando un impianto pilota all’interno dell’area portuale. Attualmente il porto di Livorno è classificato come sito contaminato di interesse nazionale (S.I.N.) ed il piano di dragaggio prevede la collocazione in vasche di colmata impermeabilizzate dei sedimenti di dragaggio, previo specifico trattamento per quelli con livelli di contaminazione superiori ad un limite appositamente definito dal Ministero dell’Ambiente. I costi di

“Sperimentazione di una tecnica naturale di decontaminazione di sedimenti marini di dragaggio per il riutilizzo come terreno agrario”

dragaggio, trattamento e collocazione nel bacino, includendo il costo di realizzazione del bacino stesso, sono risultati pari a 25 Eur/m³ per i sedimenti non richiedenti trattamento (circa il 70% del totale dragato) e 67 Eur/m³ per quelli sottoposti a preventivo trattamento biologico della contaminazione da idrocarburi.

Per il trattamento sperimentale dei sedimenti sono state utilizzate specie vegetali resistenti alla salinità, capaci di vivere in condizioni critiche, con possibili ristagni idrici. L’impianto è stato monitorato per circa due anni, seguendo l’andamento nel tempo di alcuni parametri chimici, biochimici, fisici ed idraulici (pH, EC, nutrienti, idrocarburi, metalli pesanti, attività enzimatiche, tessitura e contenuto d’acqua) misurati nel sedimento e nel percolato mediante periodici campionamenti ed analisi.

Il Progetto AGRIPORT nel porto di Livorno

Il progetto AGRIPORT ha previsto la realizzazione all’interno del porto di Livorno, di una vasca impermeabilizzata avente le seguenti dimensioni: 27 m di lunghezza, 14 m di larghezza e 1.3 m di profondità (le misure riportate includono le arginature). Il volume utile della vasca è di circa 110 m³. La vasca è stata riempita con i sedimenti provenienti dalla vasca di accumulo già esistente all’interno del porto (figura 1).



Figura 1: Bacino di accumulo interno al porto di Livorno, sito di prelievo dei sedimenti trattati con la tecnologia AGRIPORT e riempimento della vasca prototipo.

Il volume totale di sedimenti prelevati dal bacino di accumulo è di circa 80 m³, miscelati con 24 m³ di terreno vegetale (calcolati come il 30% in volume, sulla base di preve prove idrauliche finalizzate

“Riuso agricolo di sedimenti contaminati di dragaggio: il Progetto europeo AGRIPORT”

all’ottimizzazione della permeabilità, senza spreco di materiale aggiuntivo). La vasca è stata isolata con membrana in polietilene ad alta e bassa densità (LDPE-HDPE), al fine di prevenire la possibile lisciviazione delle acque di drenaggio al di fuori dell’area di studio e di poter effettuare un corretto bilancio idrico delle acque entranti ed uscenti. Uno strato drenante di 30 cm a pezzatura crescente è stato posto sul fondo della vasca, dopo aver posizionato i tubi drenanti forati (figura 2). La vasca è stata suddivisa in quattro comparti, separati idraulicamente mediante opportune pendenze del fondo e pozzetti centrali di raccolta del percolato, mediante pompa sommersa. I quattro comparti si differenziano per il diverso utilizzo di specie vegetali; i quattro trattamenti sono:

- 1) specie erbacea (*Paspalum vaginatum*);
- 2) controllo (senza piante);
- 3) specie erbacea + arbustiva (*Paspalum vaginatum* e *Spartium junceum*);
- 4) specie erbacea + arborea (*Paspalum vaginatum* e *Tamarix gallica*).

Del compost vegetale ricco di nutrienti e materiale organico, è stato aggiunto in superficie (nei primi 5 cm) in rapporto 1:1 (v/v) per scopi agronomici. Ciascun comparto è dotato di tre tubi sonda in PVC dove collocare la sonda capacitiva DIVINER 2000 per le misure del tenore di umidità interno alla vasca. La misura dell’acqua entrante ed uscente da ciascun comparto avviene mediante dei contatori conta-impulsi di classe B, posti in pozzetti dedicati ed esterni all’area. Il percolato derivante da ciascun comparto, viene stoccato in un contenitore in PVC per la raccolta dei campioni e successivamente viene convogliato all’interno di un pozzetto di raccolta dotato di tappo per lo svuotamento periodico e controllato (figura 2).



Figura 2: Strato drenante in fondo alla vasca e pozzetti di raccolta del

“Sperimentazione di una tecnica naturale di decontaminazione di sedimenti marini di dragaggio per il riutilizzo come terreno agrario”

percolato per i diversi comparti.

La vasca è dotata di un impianto autonomo di irrigazione a goccia (specie arbustive ed arboree) ed a pioggia (specie erbacee), o la combinazione delle due. Il sistema è dotato di sensore di pioggia, per un arresto automatico dell'irrigazione in caso di eventi di pioggia naturali. Il quantitativo di acqua fornito varia in funzione delle richieste stagionali; in inverno (da dicembre a febbraio) l'irrigazione viene totalmente interrotta. L'impianto è munito anche di una stazione meteo, dalla quale viene fatto il download periodico dei dati registrati.

L'intera area è stata recintata e contiene al suo interno un box (4 m x 2.5 m) dove sono allocati i vari dispositivi elettronici, quali il pc, il data logger della stazione meteo e la consolle dell'impianto di irrigazione.

Monitoraggio del sistema

Il sistema viene monitorato effettuando delle periodiche misure idrauliche e mediante periodici campionamenti del sedimento, del percolato e delle specie utilizzate, nei loro differenti apparati vegetali.

Misure idrauliche

Per le misurazioni idrauliche, oltre alla raccolta dei dati meteo ed il conteggio settimanale dei volumi di acqua entranti ed uscenti, vengono utilizzati i tubi sonda presenti in ciascun comparto per effettuare misure di distribuzione verticale del contenuto idrico del terreno. Nel dettaglio, ciascun comparto è stato suddiviso in aree di competenza, seguendo la regola dei topoi (figura 3); in questo modo, moltiplicando la superficie di competenza per l'altezza indagata, tenendo di conto che la sonda restituisce misure di umidità (%) riscontrate ogni 10 cm, è stato possibile stimare il contenuto di acqua (mm) presente in ciascun comparto e quindi nell'intera vasca. Le misure qui esposte sono il risultato di un'indagine svolta settimanalmente nel mese di Maggio 2011 in condizioni semi-sature, dopo una lunga stagione invernale e primaverile ricca di piogge.

“Riuso agricolo di sedimenti contaminati di dragaggio: il Progetto europeo AGRIPORT”

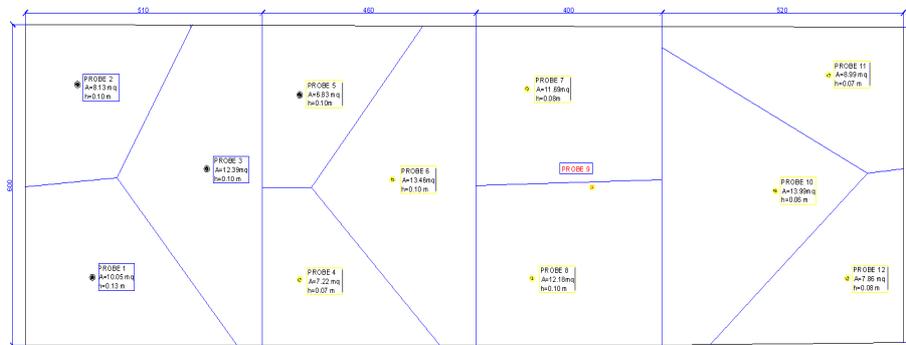


Figura 3: Vasca AGRIPORT di Livorno suddivisa per ciascun comparto in aree di competenza della sonda capacitiva DIVINER 2000, seguendo la regola dei topoi.

Tale campagna di misurazioni è stata utile al fine della determinazione dell’evapotraspirazione reale ET. Tale fattore può essere ricavato dalla seguente formula (Ven Te Chow et al., 1988):

$$ET = k_s k_c ET_{tr} \quad (1)$$

Il fattore ET_{tr} rappresenta l’evapotraspirazione di riferimento che, moltiplicata per il coefficiente di specie k_c , determina l’evapotraspirazione potenziale. Infine, dalla (1) si ricava l’evapotraspirazione reale moltiplicando l’ET potenziale per il coefficiente di suolo k_s . Per il calcolo è stato fatto riferimento agli output della stazione meteo elaborati secondo il metodo CIMIS, come variante del metodo di Penman-Montheit (FAO). Nella formula (1), k_c e k_s (coefficienti di specie e di suolo, rispettivamente) sono stato definiti mediante calibrazione (k_c) e mediante la formula (1) (k_s), in funzione del valore di umidità registrato dalla sonda capacitiva nel sedimento.

Considerando il bilancio di massa (mm) di acqua entrante ed uscente da ciascun comparto, il valore di ET reale si determina a partire da:

$$\Delta W_{SM} = W_I + W_R - W_L - W_{ET} \quad (2)$$

“Sperimentazione di una tecnica naturale di decontaminazione di sedimenti marini di dragaggio per il riutilizzo come terreno agrario”

Dove: ΔW_{SM} = variazione di acqua accumulata all'interno della vasca e determinato mediante le misure d'umidità (mm); W_I = acqua fornita per irrigazione e misurata mediante contatori (mm); W_R = pioggia misurata mediante la stazione meteo (mm); W_L = percolato misurato mediante i contatori (mm); W_{ET} = acqua rimossa (evapotraspirata) calcolata mediante l'equazione (2).

Analisi chimiche e biochimiche

I campioni di sedimento sono stati prelevati in tre differenti punti di ogni comparto (i valori riportati sono la media dei tre campioni analizzati, ottenendo quattro valori medi in totale) e a due diverse profondità (0 - 20 cm; 20 - 40 cm), nel giugno e dicembre 2010, e nel giugno e novembre 2011. Contemporaneamente sono stati raccolti anche i campioni di percolato derivanti da ogni comparto.

La conducibilità elettrica (C.E.) e il pH sono stati misurati rispettivamente su estratto acquoso 1:2 e 1:2.5 peso/volume. Il carbonio totale è stato determinato mediante RC-412 multiphase carbon (LECO corporation, USA) e l'azoto totale mediante FP-528 protein/nitrogen determinator (LECO corporation, USA). I metalli totali e il fosforo totale (TP) sono stati determinati dopo digestione acida nitrico-perclorico, rispettivamente mediante spettrometria ad assorbimento atomico e metodo colorimetrico a 720 nm (Murphy and Riley, 1962). Gli idrocarburi totali pesanti (TPH) sono stati determinati per via gravimetrica (APHA, 1992 method number 1664) sostituendo n-esano con n-pentano come modificato da Ceccanti et al., (2006).

Il carbonio idrosolubile (WSC) nel percolato, è stato determinato mediante il metodo dell'ossidazione del bicromato (Yeomans and Bremner, 1988). L'attività dell'enzima deidrogenasi è stata determinata con il metodo descritto da Masciandaro et al. (2000) che prevede l'utilizzo di INT (iodonitrotetrazoliodocloruro) come substrato e la determinazione spettrofotometrica dell'INTF (iodonitrotetrazolioform azano) prodotto a 490 nm.

Le Unità formanti colonie (UFC) della conta batterica totale sono state determinate con la procedura basata sulla conta superficiale su piastra (Jayasekara et al., 1998). L'analisi microbiologica è stata effettuata ponendo in provette sterili un grammo di sedimento e 9 ml di acqua (1:10 p / v) e agitando le provette a temperatura ambiente mediante vortex per

due minuti. Successivamente sono state effettuate diluizioni seriali e 0,2 ml di ogni diluizione è stato distribuita su di una piastra contenete agar nutritivo (plate count agar, PCA), per determinare la popolazione batterica totale. Le piastre sono state incubate a 27 ° C per 24-48, al termine delle quali sono state contate le UFC . La formula utilizzata per contare le UFC (Picci et al, 2002) è la seguente:

$UFC = (\sum C) / (\sum n * z)$; dove:

C = Numero delle colonie contate sulle varie piastre

z = Fattore di diluizione (10^{-x})

n = Numero di piastre per ognuna delle diluizioni

Bilancio di massa dei metalli

Sula base dei risultati dei campionamenti semestrali, in termini di contenuto dei metalli pesanti presente nel sedimento e nel percolato, è stato possibile effettuare il bilancio di massa dei metalli. Ai fini del calcolo, le concentrazioni rilevate nel sedimento sono state mediate per ciascun comparto su due profondità (0-20 cm e > 20 cm), distinguendo quindi tra strato superficiale, maggiormente influenzato dalla presenza delle radici (comparti piantumati 1, 3 e 4) e strato profondo.

Per il percolato invece è stato fatto riferimento al volume di acqua lisciviato tra un prelievo e l'altro, su un arco temporale di 17 mesi circa. Il bilancio infatti, si riferisce al periodo giugno 2010 – novembre 2011 ed è espresso in termini di grammi persi dal sedimento ed accumulati nel percolato.

Risultati e discussione

Misure idrauliche

Utilizzando le equazioni (1) e (2) precedentemente esposte, è stato possibile determinare il valore dell'evapotraspirazione reale a partire dai valori registrati e misurati in termini di acqua fornita, piovuta e drenata, e stimare i coefficienti di suolo k_s . Per il calcolo, sono stati prima calibrati i coefficienti colturali k_c , i cui valori sono riportati in tabella 1.

“Sperimentazione di una tecnica naturale di decontaminazione di sedimenti marini di dragaggio per il riutilizzo come terreno agrario”

Tabella 1: Valori dei coefficienti colturali (k_c) calibrati. P = *Paspalum v.*, C = controllo, P+S = *Paspalum v.* + *Spartium j.*, P+T = *Paspalum v.* + *Tamarix g.*

	P	C	P+S	P+T
k_c	2.5	2.15	2.1	1.8

Dal punto di vista dell'umidità interna, la vasca sembra essere in condizioni insature, senza produzione di percolato da Aprile 2011 a Novembre 2011 (dati non riportati). Ciò indica un ottimo risultato sia in termini agronomici che ambientali; è stata infatti raggiunta e mantenuta la capacità di campo (De Valleio et al., 2005): l'acqua presente nel terreno può essere quindi allontanata solo per assorbimento radicale oppure per evaporazione, andando a costituire nel medium una riserva idrica ottimale, utilizzabile dalle piante.

In figura 4 si riporta la relazione tra umidità misurata nel letto ed i valori dei k_s calcolati per ogni comparto.

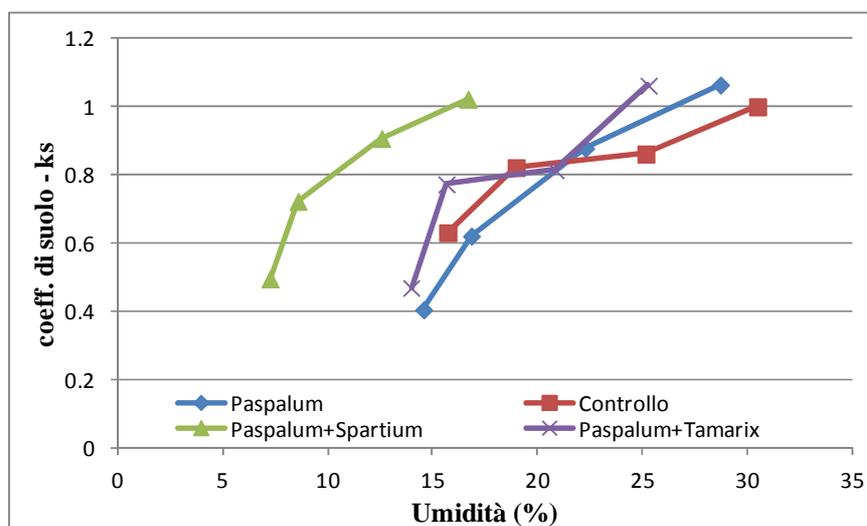


Figura 3: Relazione tra l'umidità interna al setto (in ascisse) ed il corrispettivo valore del coefficiente di suolo k_s (in ordinate), calcolato utilizzando l'equazione (1), per ciascun setto.

I valori dei coefficienti colturali sono stati calibrati considerando che la massima evapotraspirazione reale osservata coincida con quella potenziale (ovvero ottenendo valori di k_s prossimi all'unità; formula (1)). Essendo i k_c molto superiori ad uno (valore più basso pari a 1.8, ottenuto per il comparto 3), per tutti i comparti (compreso il controllo) si registra un alto tenore di acqua persa per evapotraspirazione (intesa come combinazione degli effetti di evaporazione + traspirazione): ciò potrebbe essere dovuto dall'elevata esposizione della vasca a forti venti ed irradiazioni solari, trovandosi l'area in una zona isolata e scoperta, all'interno del porto.

La scarsa differenza tra i comparti vegetati ed il controllo invece, potrebbe essere dovuto dalla presenza in loco di un edificio abbandonato che, durante l'arco diurno, pone in ombra i setti 3 e 4, limitando così la traspirazione delle piante. Non di meno, l'applicazione di formule come Penman-Montheit per la determinazione dell'evapotraspirazione, può risultare inesatta a causa dalle esigue dimensioni della vasca e delle condizioni al contorno, essendo valida infatti per estese superfici, ricoperte da una fitta vegetazione.

Risultati analisi chimiche e biochimiche

I risultati delle analisi chimiche e biochimiche effettuate sul sedimento sono riportati in tabella 2. Per quanto riguarda i metalli pesanti e gli idrocarburi, i valori limite riportati nel D.Lgs. 152/2006 per le aree ad uso urbano sono: Zn (150 mg/kg); Pb (100 mg/kg); Ni (120 mg/kg); Cu (120 mg/kg); Cr (150 mg/kg) e Cd (2 mg/kg). Comparando questi valori con quelli ottenuti, solo per lo zinco si osservano ancora valori sopra i limiti di legge. Per il resto, il trend osservato dimostra una diminuzione del contenuto dei metalli, seppur di scarsa entità, nel tempo. Si riportano in figura 4, a titolo di esempio, i risultati ottenuti per il Cu e il Cr. Nel caso invece degli idrocarburi (valore limite $C>12$ per aree industriali, 750 mg/kg), si osserva un forte abbattimento (più del 50% in alcuni casi, figura 5) specialmente nei setti vegetati, rientrando dopo un anno e mezzo di trattamento (novembre 2011), nei limiti di legge.

Con riferimento ai nutrienti (azoto, fosforo e carbonio totale), valori in aumento sono stati osservati per l'azoto in tutti i trattamenti (setto 1, 3 e 4; tabella 2) e specialmente nello strato inferiore (20-40 cm). Per il fosforo, ed in modo più marcato per il carbonio si sono riscontrati invece valori in diminuzione, sempre negli strati profondi (tabella 2). Il carbonio

“Sperimentazione di una tecnica naturale di decontaminazione di sedimenti marini di dragaggio per il riutilizzo come terreno agrario”

rappresenta infatti il substrato ottimale di crescita per i microrganismi presenti nel medium (Ceccanti et al., 2006). Il contenuto di nutrienti e di sostanze organiche è risultato comunque alto anche negli strati superficiali, a causa dell’aggiunta di compost vegetale.

Tabella 2: Risultati analisi chimiche e biochimiche del sedimento, a due profondità (0-20 cm; 20-40 cm), in ciascun comparto (P: *Paspalum v.*, C: controllo, P+S: *Paspalum v.* + *Spartium j.*, P+T: *Paspalum v.* + *Tamarix g.*), per tutti i campionamenti effettuati; nutrienti: azoto, fosforo e carbonio totale (TN, TP, TOC), deidrogenasi (Dh-ase) e conta microbica totale (CFU).

		06-2010				12-2010				06-2011				11-2011			
		P	C	P+S	P+T												
TN (%)	(0-20)	0.13	0.14	0.15	0.14	0.19	0.16	0.18	0.19	0.17	0.16	0.22	0.19	0.18	0.15	0.18	0.16
	(20-40)	0.06	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.09	0.06	0.09	0.07	0.12	0.09	0.12	0.09
TP (mg/kg)	(0-20)	647	813	655	658	500	525	572	478	322	359	299	303	397	367	271	375
	(20-40)	380	316	301	506	470	492	481	478	282	256	236	217	263	336	277	252
TOC (%)	(0-20)	2.26	2.11	1.81	2.02	2.00	2.01	1.90	2.26	2.44	2.30	1.82	2.22	2.69	3.02	3.51	3.17
	(20-40)	1.25	1.31	1.68	1.40	1.14	1.30	1.16	1.34	1.09	1.27	1.40	1.40	1.27	0.91	1.23	1.19
Dh-ase (mgINTF /kg h)	(0-20)	2.32	1.38	2.94	2.63	2.21	1.77	4.62	4.17	2.64	1.58	4.75	4.35	1.52	1.97	4.19	5.07
	(20-40)	1.71	1.62	2.52	2.85	1.61	1.89	2.89	2.52	1.84	1.76	3.06	3.15	2.77	2.15	3.99	4.42
Conta batterica (CFU/g)	(0-20)	1.4e7	2.1e7	1.8e7	1.5e7	0.8e7	0.2e7	0.9e7	0.9e7	0.6e7	0.2e7	0.3e7	0.3e7	0.4e7	0.5e7	0.6e7	0.6e7
	(20-40)	0.9e7	0.3e7	0.5e7	0.6e7	0.3e7	0.1e7	0.2e7	0.2e7	0.5e7	0.6e7	0.1e7	0.4e7	0.6e7	0.3e7	0.3e7	0.1e7

Con riferimento alle analisi biochimiche, gli alti valori osservati per l’enzima deidrogenasi (legato ai processi di degradazione dei substrati organici nel suolo), soprattutto nei trattamenti con combinazione di piante (comparti 3 e 4) conferma l’attivazione dei microrganismi presenti nel medium; i più alti valori sono stati osservati negli strati superiori, grazie alla presenza delle radici delle piante che producendo essudati, stimolano le attività enzimatiche (Masciandaro et al., 2000). La conta delle popolazioni batteriche risulta decrescere nel tempo: ciò è normale in quanto indica la selezione di microrganismi più idonei al substrato di crescita (Cho et al., 2008), rispetto ad altri.

I risultati ottenuti per il percolato (dati non riportati), dimostrano come il contenuto dei metalli sia risultato basso e spesso non determinabile, sempre inferiore ai limiti di legge (D.Lgs. 152/2006) per acque di falda.

“Riuso agricolo di sedimenti contaminati di dragaggio: il Progetto europeo AGRIPORT”

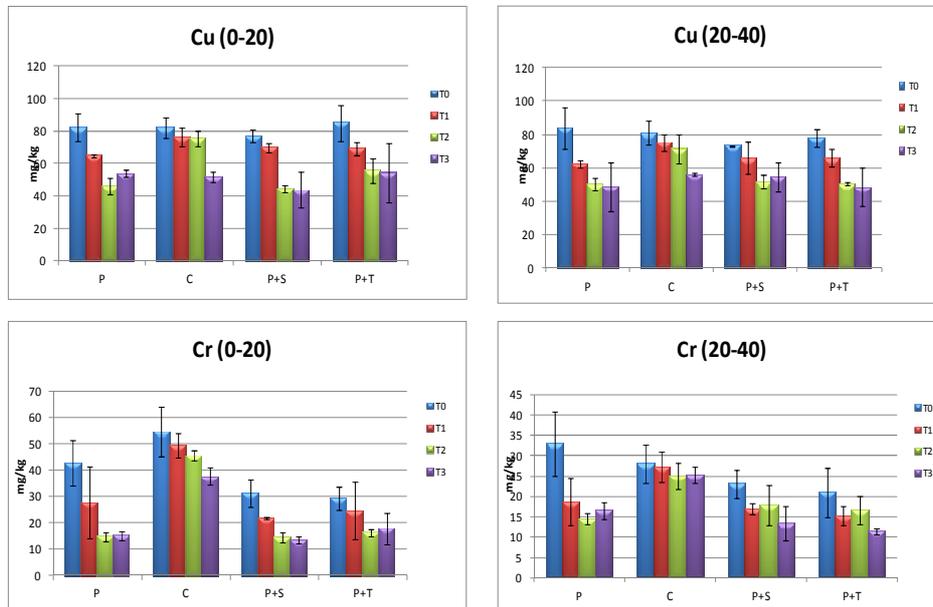


Figura 4: Contenuto del rame (Cu) e del cromo (Cr) misurato in ciascun comparto (P = *Paspalum v.*, C = controllo, P+S = *Paspalum v.* + *Spartium j.*, P+T = *Paspalum v.* + *Tamarix g.*), nel tempo (T= = giugno 2010; T1 = dicembre 2010; T2 = giugno 2011; T3 = novembre 2011) ed a due profondità (0-20 cm; 20-40 cm).

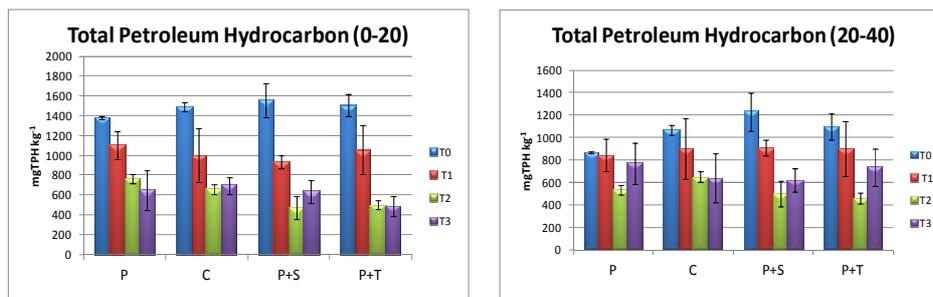


Figura 5: Contenuto del idrocarburi (TPH) misurato in ciascun comparto (P = *Paspalum v.*, C = controllo, P+S = *Paspalum v.* + *Spartium j.*, P+T = *Paspalum v.* + *Tamarix g.*), nel tempo (T= = giugno 2010; T1 = dicembre 2010; T2 = giugno 2011; T3 = novembre 2011) ed a due profondità (0-20 cm; 20-40 cm).

“Sperimentazione di una tecnica naturale di decontaminazione di sedimenti marini di dragaggio per il riutilizzo come terreno agrario”

Il contenuto dei sali nel percolato è diminuito subito nei primi sei mesi di sperimentazione (da 10 dS/m a circa 1 dS/m), così come il contenuto di carbonio idrosolubile (dati non riportati).

Bilancio di massa dei metalli

Si riportano di seguito, a titolo d’esempio (figura 3a, b) le cumulate ottenute per il rame ed il cromo. In generale, e ciò vale anche per gli altri metalli indagati e non riportati, si osservano valori (grammi) decrescenti nel sedimento e scarso trasferimento nel percolato.

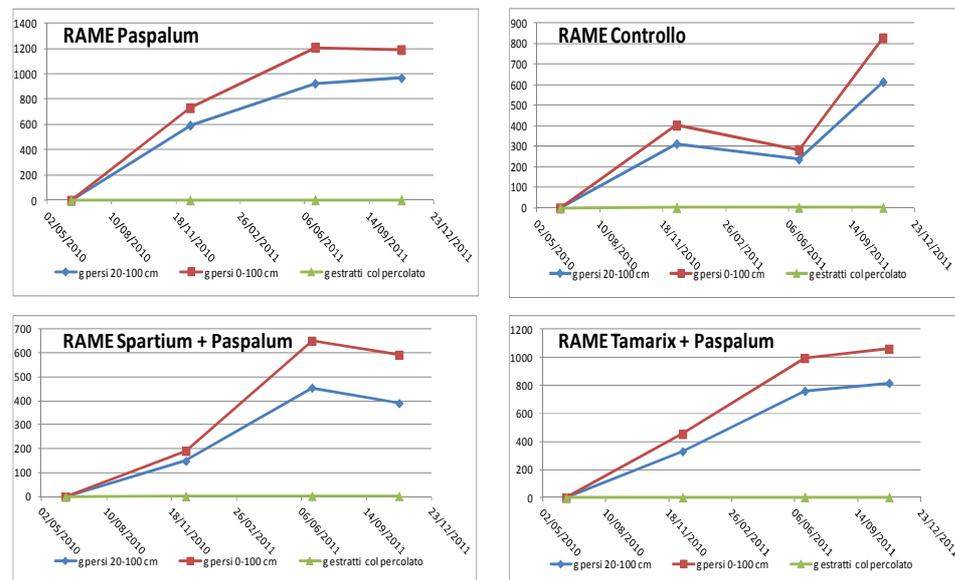


Figura 3a: Bilancio del rame nei diversi comparti: cumulate sedimento e percolato; linea blu = grammi persi nello strato 20-100 cm; linea rossa = grammi persi nello strato 0-100 cm; linea verde = grammi estratti con il percolato. Ascisse: date di prelievo campioni (giugno 2010 – novembre 2011).

Le possibili spiegazioni sono da riscontrarsi nell’accumulo nelle piante o meno verosimilmente nel trasferimento nel percolato in forma non rilevata. L’analisi dei tessuti vegetali consentirà di completare l’analisi.

“Riuso agricolo di sedimenti contaminati di dragaggio: il Progetto europeo AGRIPORT”

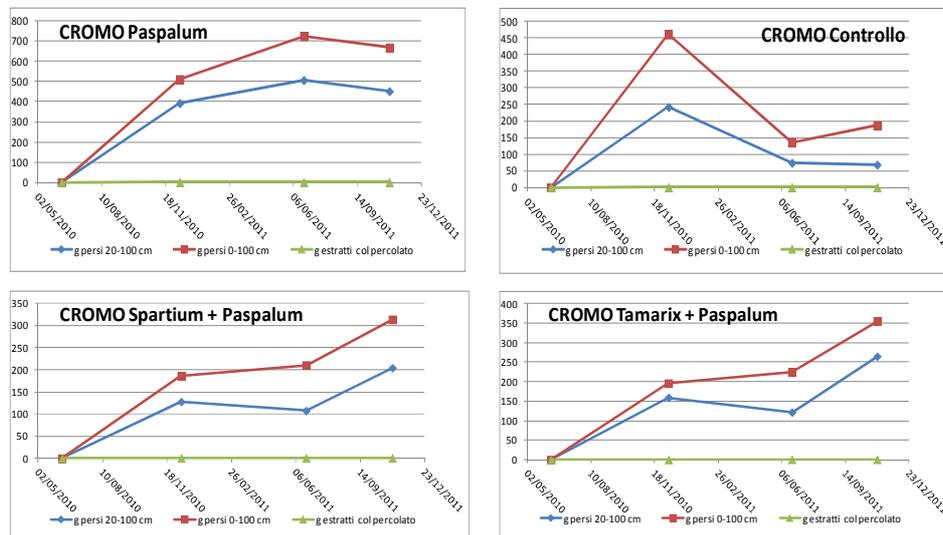


Figura 3b: Bilancio del cromo nei diversi setti: cumulate sedimento e percolato; linea blu = grammi persi nello strato 20-100 cm; linea rossa = grammi persi nello strato 0-100 cm; linea verde = grammi estratti con il percolato. Ascisse: date di prelievo campioni (giugno 2010 – novembre 2011).

Conclusioni

La tecnica AGRIPORT esposta, basata sull'utilizzo di piante e di ammendanti agronomici, si è dimostrata capace di degradare significativamente la contaminazione da idrocarburi dei sedimenti dragati dal porto di Livorno, ed in misura minore di rimuovere il contenuto di metalli pesanti. Inoltre la tecnica ha consentito di trasformare i sedimenti, in circa due anni di attività, in una matrice biologicamente attiva, ricca di enzimi soprattutto a livello radicale. I metalli sono stati abbattuti del 20%, contro il 70% per gli idrocarburi. Le piante utilizzate (*Paspalum v.*, *Spartium j.*, e *Tamarix g.*) hanno totalmente colonizzato il sedimento a partire dai primi mesi di trattamento. Dal punto di vista idraulico, il deficit irriguo è stato raggiunto ad un anno dalla sperimentazione, senza produzione di percolato.

BIBLIOGRAFIA

- Bianchi V., Masciandaro G., Ceccanti B., Doni S. and Iannelli R. (2010). Phytoremediation and bio-physical conditioning of dredged marine sediments for their re-use in the environment. *Water Air Soil Pollut*, 210, 187-195.
- Ceccanti B., Masciandaro G., Garcia C., Macci C. and Doni S. (2006). Soil bioremediation: combination of earthworms and compost for the ecological remediation of a hydrocarbon polluted soil. *Water Air Soil Poll.* 177, 383-397.
- Cho S., Tsai S., Ravindran A., Selvam A. and Yang S. (2008). Seasonal variation of microbial populations and biomass in *Tatachia* grassland soils of Taiwan. *Environ Geochem Health*, **30**, 255–272.
- De Valleio L., Ferrer M., Ortuno L. and Oteo C. (2005). *Geoingegneria*. Ed. Pearson Education Itlai srl. ISBN: 10: 88-7192-094-5
- ICRAM-APAT, 2006. Manuale per la movimentazione di sedimenti marini.
- Jayasekara N.Y., Heard G.M., Cox J.M., Fleet G.H. (1998). Populations of pseudomonas and related bacteria associated with bottled non-carbonated mineral water. *Food Microbiol.*, **15**, 167–176.
- Masciandaro G., Ceccanti B., Ronchi V. and Bauer C. (2000). Kinetic parameter of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to vermicompost and inorganic fertilisers. *Biology and Fertility of Soils*, **32**, 479-483.
- Murphy J.P. and Riley J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, **27**, 31-36.
- Picci G. and Nannipieri P. (2002). *Metodi di analisi microbiologica del suolo*, EDS, Franco Angeli editore.
- Te Chow V., Maidment D.R. and Mays L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw Hill – International Ed. Civil Engineering series.