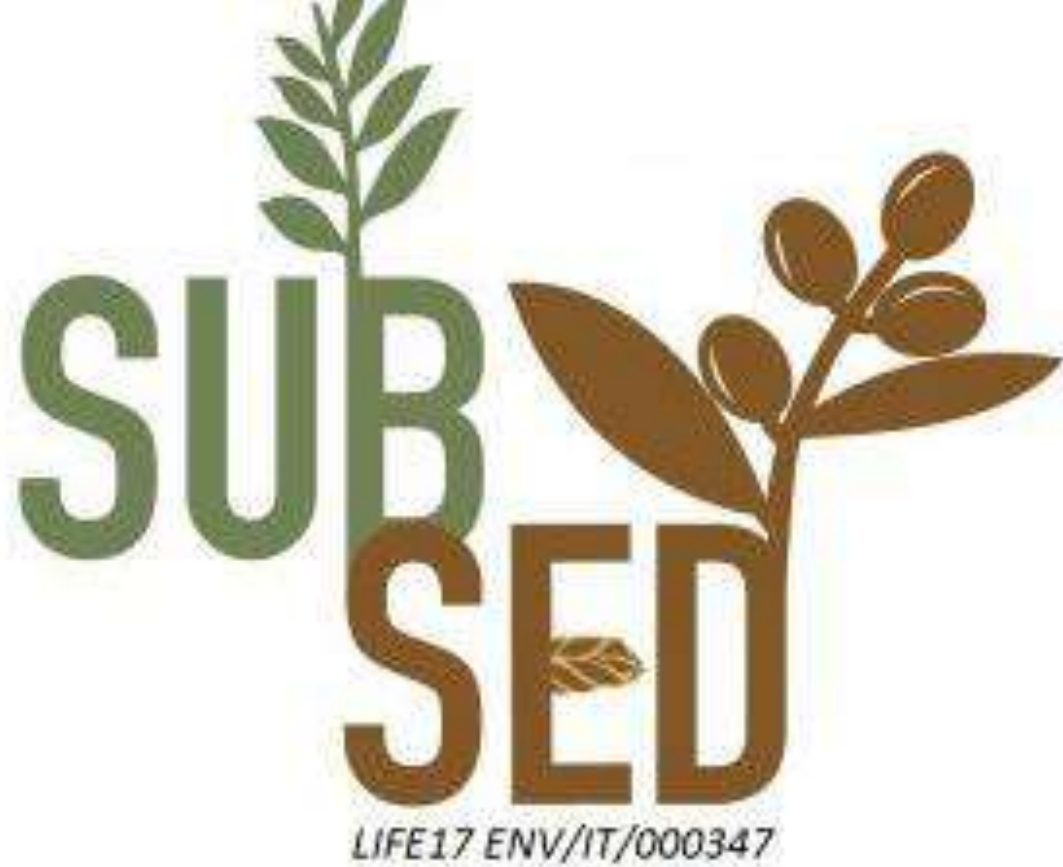




Tecnologie di recupero dei sedimenti marini dragati

GRAZIA MASCIANDARO

CRISTINA MACCI



Workshop Subsed, 8 Luglio 2021

Gestione dei sedimenti di dragaggio



- Ogni anno in Europa 100-200 milioni m³ di sedimenti contaminati sono dragati e necessitano di essere smaltiti in modi specifici e costosi
- A livello nazionale i sedimenti portuali in surplus ammontano a circa 50 milioni m³ con un incremento medio di circa 5 milioni di m³/anno. L'Italia è il secondo paese Europeo del Mediterraneo per la lunghezza delle coste e presenta 653 porti (Apat 2006)

Mancanza di una direttiva comunitaria dedicata

La frammentazione normativa comporta dubbi interpretativi ed applicativi (D.lgs.152/2006; D.M. 161/2012)

La maggiore criticità: **i sedimenti dragati sono rifiuti?**

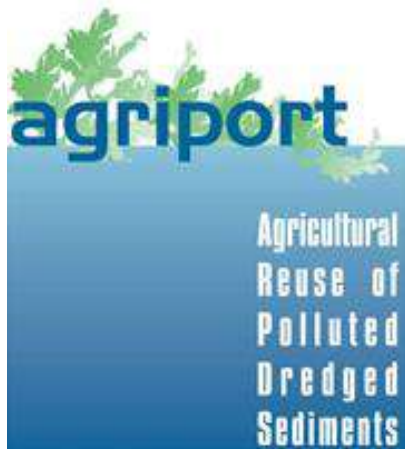


La classificazione del sedimento come rifiuto porta ad un costo di dragaggio e gestione pari a circa 160 €/m³

Progetto Europeo: AGRIPORT

Agricultural Reuse of Polluted Dredged Sediments

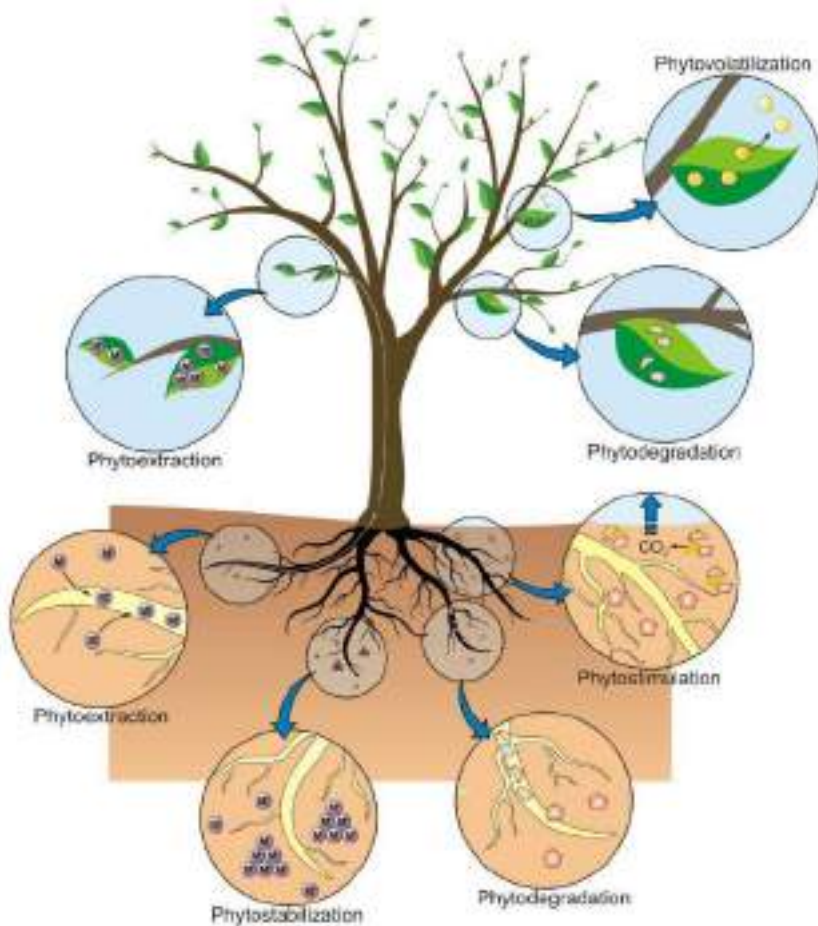
No. ECO/08/239065/S12.532262



- Utilizzo della fitorimediazione come tecnologia di bonifica sostenibile per trasformare i sedimenti di dragaggio salmastri e marini leggermente inquinati in un substrato agronomico, che può essere utilizzato come un "tecno-suolo"



Ruolo delle piante nel recupero di sedimenti contaminati



Fitoestrazione: assorbono e accumulano i metalli pesanti nei propri tessuti

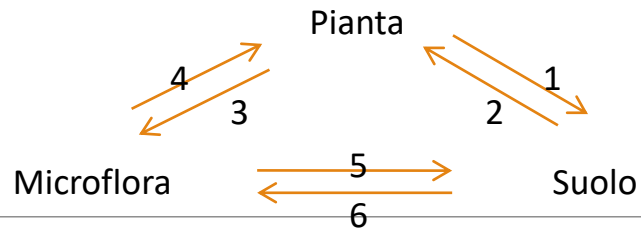
Fitodegradazione: degradano le sostanze inquinanti organiche in sostanze semplici (CO_2 e acqua) utili per il proprio metabolismo mediante processi metabolici /enzimatici che avvengono sia all'interno della pianta che nella rizosfera

Fitostimolazione: secernono enzimi che implementano la degradazione microbica e funginea

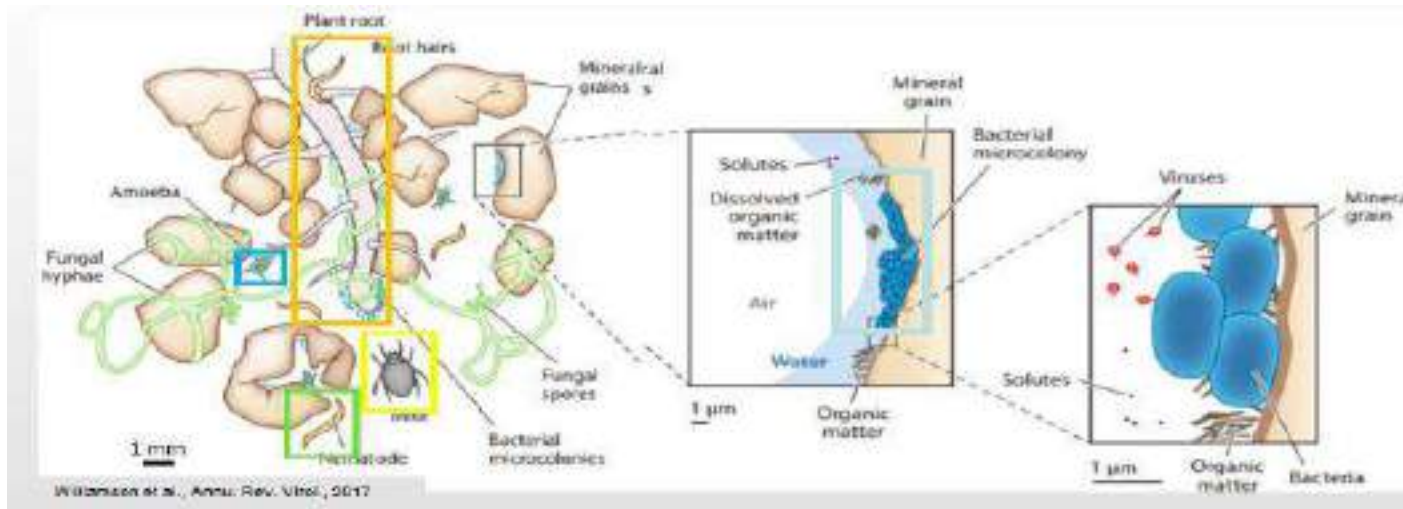
Fitostabilizzazione: le piante permettono l'adsorbimento e la precipitazione dei contaminanti, riducendone la mobilità e la migrazione verso l'acquifero.

Volatilizzazione: diffusione e traspirazione di un contaminante con il rilascio del contaminante stesso o di uno dei suoi derivati, generalmente meno tossici.

Interazioni suolo-pianta-microflora



1. La pianta influenza le caratteristiche del suolo con l'apporto di materia organica (tessuti morti, essudati radicali) e con l'escrezione di H^+ .
2. Le caratteristiche del suolo influenzano le attività fisiologiche della pianta e la disponibilità dei nutrienti.
3. La pianta fornisce energia ai microrganismi.
4. **I microrganismi influenzano le attività fisiologiche della pianta e la disponibilità dei nutrienti.**
5. I microrganismi modificano le caratteristiche del suolo.
6. Le caratteristiche del suolo modulano l'abbondanza e la diversità dei microrganismi.



I microrganismi si localizzano nelle microscopiche nicchie del suolo più adatte alle loro necessità fisiologiche e permettono alla pianta di fronteggiare i maggiori stress biotici e abiotici

La rizosfera

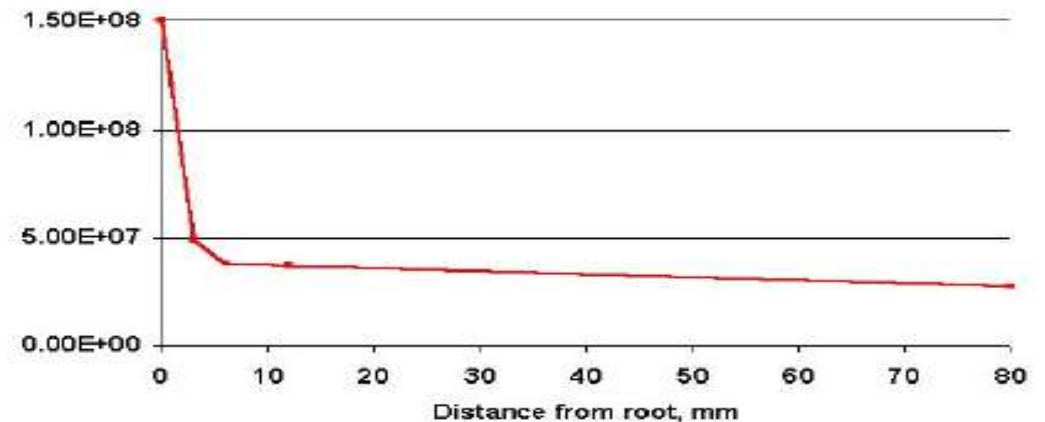


RIZOSFERA: il sottile strato di terra che rimane sulle radici delle piante dopo che la pianta è stata sradicata dal suo ambiente e scossa (porzione di suolo influenzata dal sistema radicale della pianta)

La radice della pianta fornisce fonti carboniose e non, prontamente disponibili per la crescita microbica, come essudati (composti da zuccheri, aminoacidi, vitamine, alcaloidi e fosfatidi) che rappresentano una preziosa fonte alimentare che richiama molti organismi

La popolazione microbica della rizosfera è in genere da 10 a 100 volte superiore rispetto al suolo circostante

La pianta è in grado di selezionare comunità microbiche rizosferiche benefiche indicate come **RIZOBATTERI PROMOTORI DELLA CRESCITA**



PROGETTO ECO-INNOVATION AGRIPORT



Progetto triennale **ECO-INNOVATION** (eu #239065)

- Finanziato nel 2009 dalla Commissione Europea
- Cofinanziamento dal Ministero dell'Ambiente

Obiettivo:

- Sfruttamento commerciale di una fito-tecnologia per la decontaminazione di sedimenti marini da attività di dragaggio, per trasformarli in una matrice non contaminata, dalle peculiarità di un suolo agronomico (tecno-suolo), riutilizzabile nell'ecosistema terrestre.

Partecipanti:

- SGI Studio Galli Ingegneria (Padova, Italia)
- Autorità Portuale di Livorno (Livorno, Italia)
- Università di Pisa - Dip. di ingegneria civile (Pisa, Italia)
- CNR - Istituto per lo studio degli ecosistemi (Pisa, Italia)
- Agricultural Research Org. - Volcani Center (Israel)
- D'Appolonia s.p.a. (Genova, Italia)
- DFS Engineering d.o.o. Montenegro (Montenegro)

Siti impianti dimostrativi:

- Porto di Livorno (Italia)
- Canale Navicelli di Pisa (Italia)
- Porti di Haifa (Israele)
- Porto di Ashdod (Israele)



PORTO DI LIVORNO

- Prima Sito contaminato di interesse nazionale (SIN) e da maggio 2014 Sito di Interesse Regionale (SIR)

Vasca di accumulo
1.750.000 m³
400.000 m²



Il protocollo concordato col Ministero dell'Ambiente:

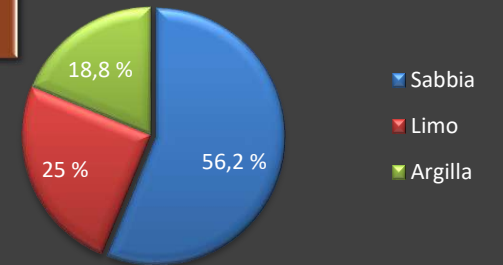
- Collocazione in vasca di colmata impermeabilizzata dei sedimenti di dragaggio con contaminazione inferiore al 90% dei limiti per siti ad uso commerciale e industriale (Tab. 1 all. 5 D.Lgs 152/2006)
- Superamento limiti idrocarburi: landfarming con bioaugmentation prima di collocazione in vasca
- Superamento limiti metalli: conferimento in discarica
- Costo complessivo di collocazione e trattamento: circa 70 €/m³ oltre al dragaggio e trasporto
- La vasca di colmata è stato completamente riempita in circa 2 anni di attività di dragaggio

Sedimenti dragati dal porto di Livorno

	Livello di contaminazione dei sedimenti	D.Lgs 152/06 – Colonna A	D.Lgs 152/06 – Colonna B
Sabbia (%)	15.4		
Limo (%)	46.6		
Argilla (%)	38		
Tessitura (classificazione USDA)	Limo argilloso		
pH	7.78		
Conducibilità elettrica (dS m ⁻¹)	3.0		
Carbonio organico totale (%)	1.2		
Azoto totale(%)	0.08		
C/N	15		
NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	4.1		
Fosforo totale (mg kg ⁻¹)	640		
Ni (mg kg ⁻¹)	84	120	500
Pb (mg kg ⁻¹)	83	100	1000
Cu (mg kg ⁻¹)	90	120	600
Cr (mg kg ⁻¹)	60	150	800
Cd (mg kg ⁻¹)	1.55	2	15
➡ Zn (mg kg ⁻¹)	300	150	1500
➡ Idrocarburi totali (mg kg ⁻¹)	1600	10 + 50 (C<12+ C>12)	250+ 750 (C<12+ C>12)

Miscelazione del sedimento con un suolo sabbioso (20% v/v)

Granulometria Miscela



Classificazione USDA*: Franco sabbioso

Sito sperimentale



Piantumazione



Fasi di costruzione dell'impianto pilota di Livorno

Realizzazione della vasca



Monitoraggio



Piante selezionate:
specie erbacea (*Paspalum vaginatum*)

specie arbustive (*Spartium junceum*,
Tamarix gallica)



strato di compost
incorporato in
superficie (dose 40 t/h)



Adattamento e crescita delle piante

Maggio 2010 (piantumazione)



Adattamento dopo 3 mesi



Adattamento e crescita delle piante

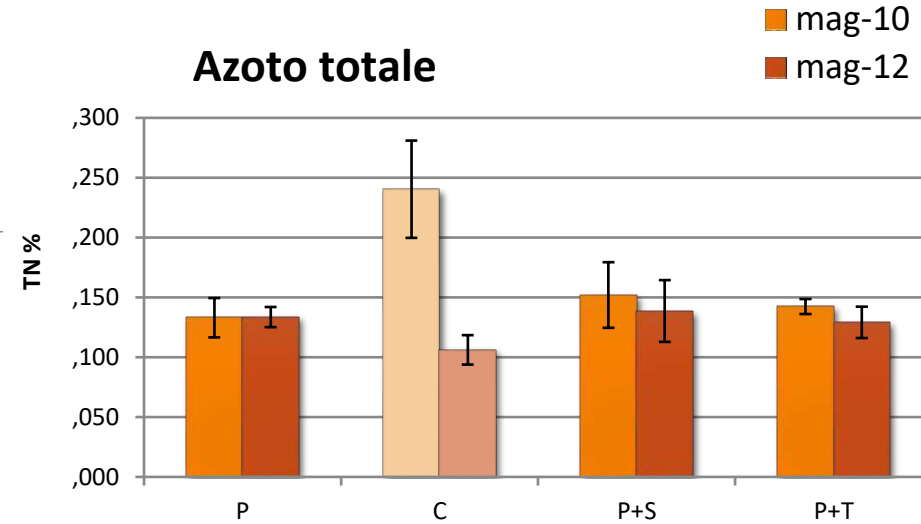
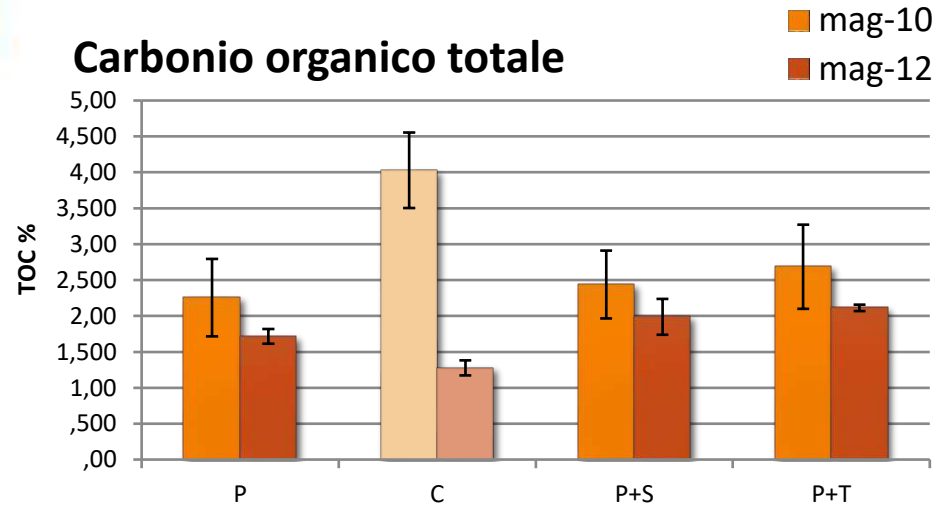
Maggio 2011



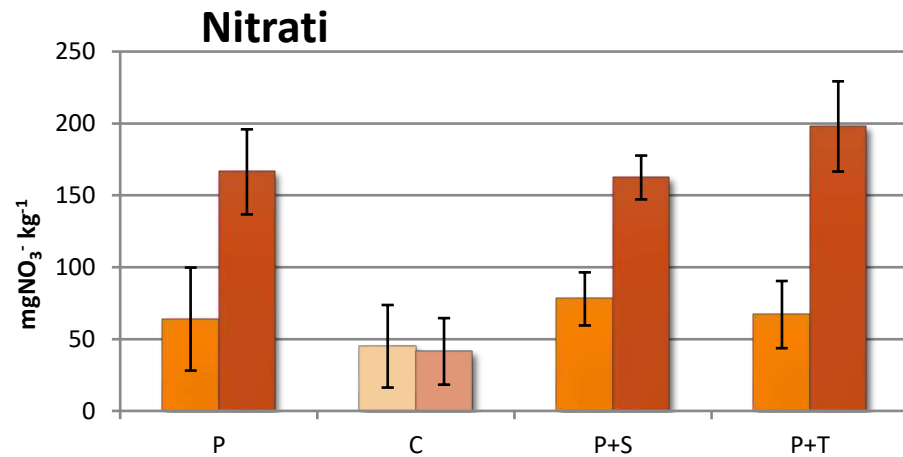
Maggio 2012



	P+S	P+T	P
	<i>Spartium junceum</i>	<i>Tamarix gallica</i>	<i>Paspalum vaginatum</i>
	Altezza cm		Copertura %
Maggio 2010	20	25	20
Maggio 2012	145±30	135±20	100
Crescita in 2 anni di sperimentazione	725%	540%	500%



La presenza delle piante consente, rispetto al controllo, il mantenimento nel tempo del C-organico e dell'azoto



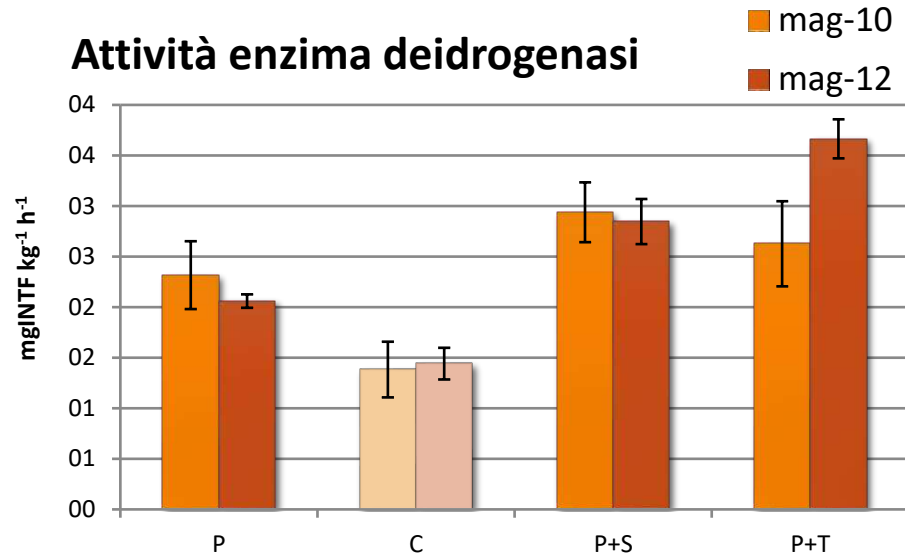
Aumento dei nitrati in tutti i trattamenti con le piante



Miglioramento delle condizioni chimico-fisiche per i microorganismi e per le piante

P, *Paspalum*;
C, controllo;
P+S, *Paspalum*+*Spartium*;
P+T, *Paspalum*+*Tamarix*

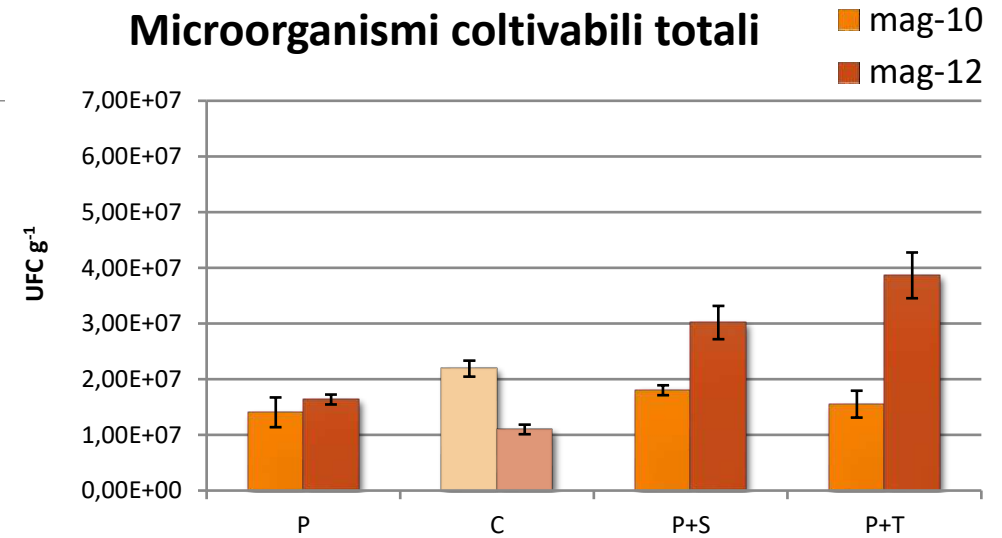
Recupero ecologico-funzionale



I trattamenti con le piante hanno mostrato rispetto al controllo un aumento medio del 40% dell'attività dell'enzima deidrogenasi



Stimolazione del metabolismo microbico



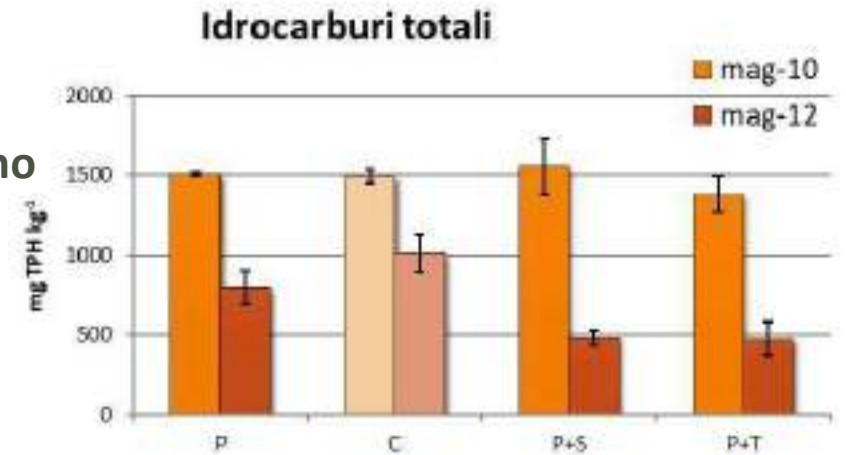
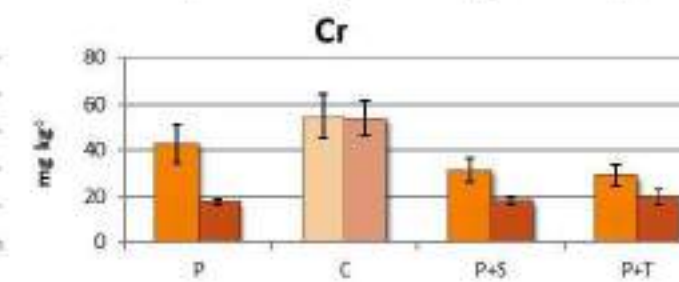
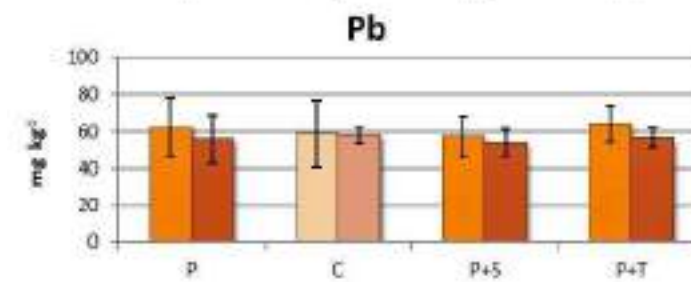
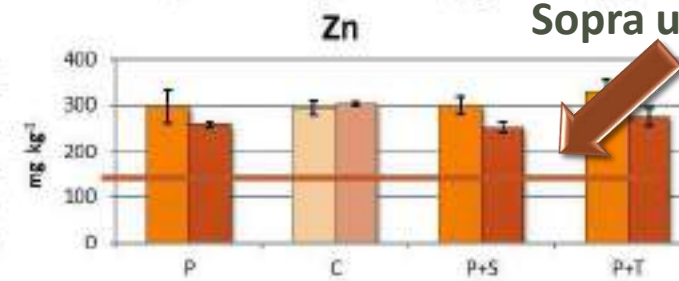
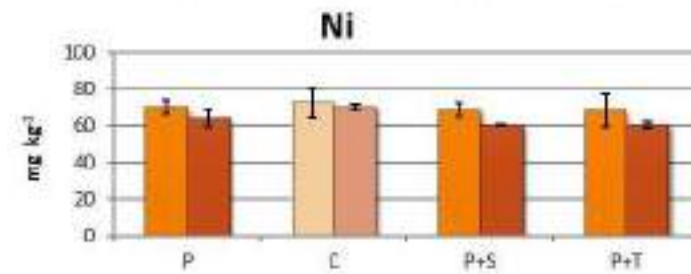
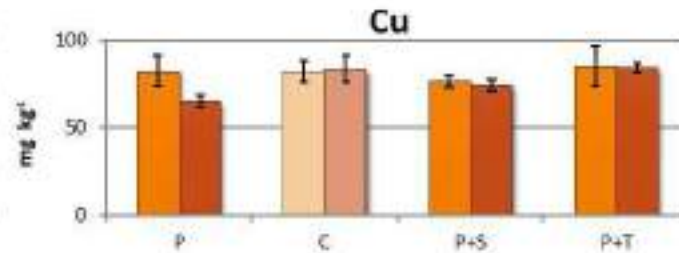
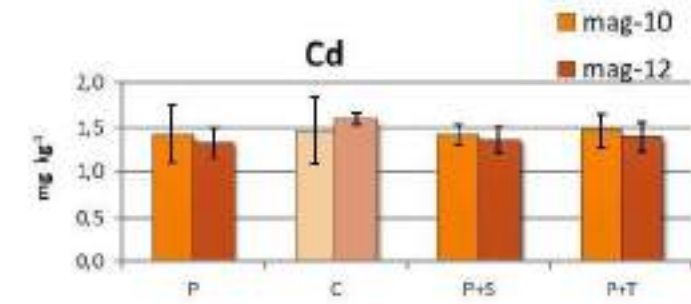
Aumento del numero di microorganismi coltivabili in tutti i trattamenti con piante erbacee in associazione con quelle arbustive (50%)

P, *Paspalum*; C, controllo; P+S, *Paspalum+Spartium*; P+T, *Paspalum+Tamarix*

Decontaminazione

P, *Paspalum*; C, controllo; P+S, *Paspalum*+*Spartium*; P+T, *Paspalum*+*Tamarix*

D.Lgs 152/2006	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr	Idrocarburi totali
Uso urbano (mg kg ⁻¹)	2	120	120	150	100	150	60 (C<12+C>12)
Uso industriale (mg kg ⁻¹)	15	600	500	1500	1000	800	1000 (C<12+C>12)
D.M 46/2019 Uso Agricolo (mg kg ⁻¹)	5	200	120	300	100	150	50(C10-C40)



Riduzione media del 15% nei trattamenti con le piante
P+S riduzione media del 20%

Riduzione media degli idrocarburi totali del 50%
in tutti i trattamenti con le piante

Tale diminuzione può essere correlata al
miglioramento delle proprietà biologiche a livello
delle radici delle piante

RECUPERO AGRONOMICO

➤ Il miglioramento delle proprietà chimico-nutrizionali (aumento di N e P di circa il 25%) dei sedimenti trattati è indicativo dell'attivazione del ciclo dei nutrienti e quindi del recupero della fertilità agronomica (C/N circa 10, tipico di un suolo naturale in equilibrio)

RECUPERO ECOLOGICO-FUNZIONALE

➤ La stimolazione dei parametri biologici, in particolare nei trattamenti con l'associazione di specie erbacee e arbustive, contribuisce a generare un "ecosistema suolo" funzionale (aumento del numero e dell'attività dei microrganismi di circa il 50%).

DECONTAMINAZIONE

➤ La diminuzione nel tempo dei metalli pesanti (20%) e degli idrocarburi totali (50-60%) indica l'efficienza del sistema di fitorimediazione mediante tecnologia AGRIPORT.



Brevetto italiano No. 0001410263 rilasciato il 05/09/2014

Iannelli R, Masciandaro G, Ceccanti B, Bianchi V, Doni S. Metodo per il trattamento di residui di dragaggio mediante fitorimediazione e impianto che realizza tale metodo. PI2012A000013.



Landfarming

landfarming è una tecnologia di biorisanamento in cui i sedimenti contaminati vengono sparsi nella zona superiore del suolo o nelle celle di biotattamento, mescolati con sostanze nutritive e il materiale viene periodicamente irrigato e aerato. I contaminanti organici vengono degradati dai microrganismi e utilizzati come fonte di carbonio per la crescita e l'energia

- 3 punti di campionamento in circa 40m²
- 10 sub-campioni per ogni punto di campionamento



Campagne di campionamento:

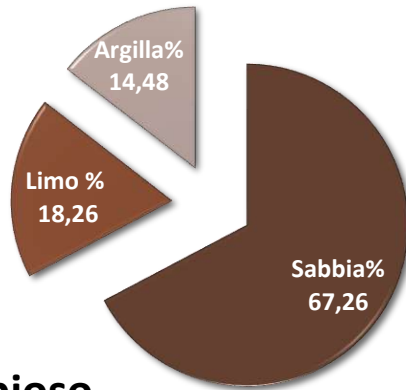
- Ti (inizio), caratterizzazione iniziale
- Tm (metà), a metà del processo di landfarming
- Tf (fine), alla fine del processo di landfarming



Periodica aerazione (una volta alla settimana) mediante rivoltamento meccanico dei sedimenti per un periodo di tre mesi

Monitoraggio del processo di landfarming: Analisi fisiche

Tessitura finale



Franco Sabbioso

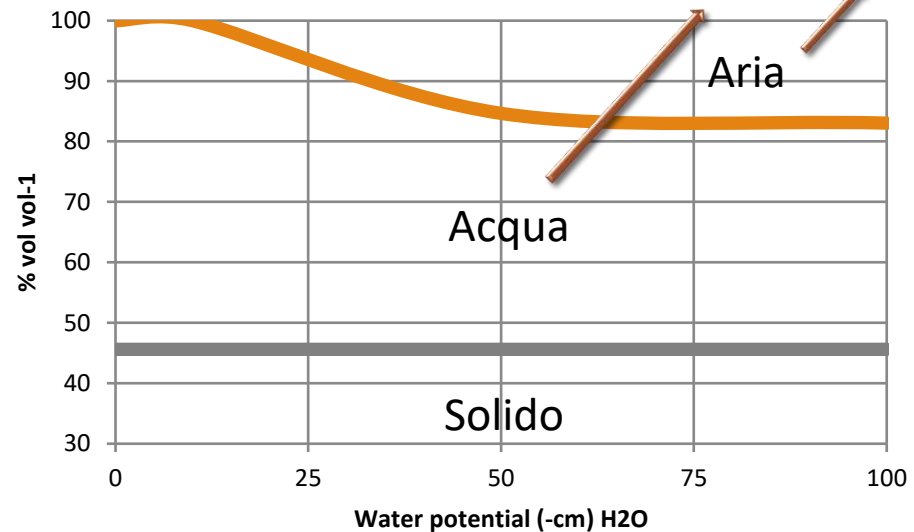
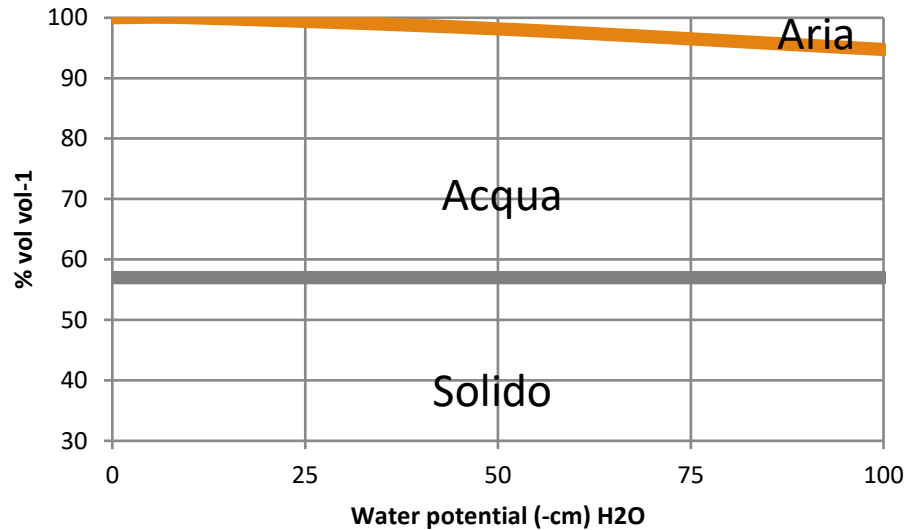
	Ti	Tf
Densità apparente g/cm ³	1,49±0,04	1,19±0,05
Porosità %	43,0±0,1	54,3±0,1
Disponibilità di acqua %	3,67±0,11	16,94±0,2

Diminuzione significativa della densità apparente

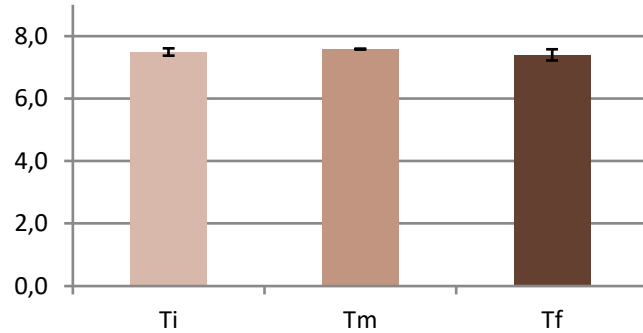


Curva di ritenzione idrica

Diminuzione della compattazione ed
aumento degli spazi vuoti per aria e acqua

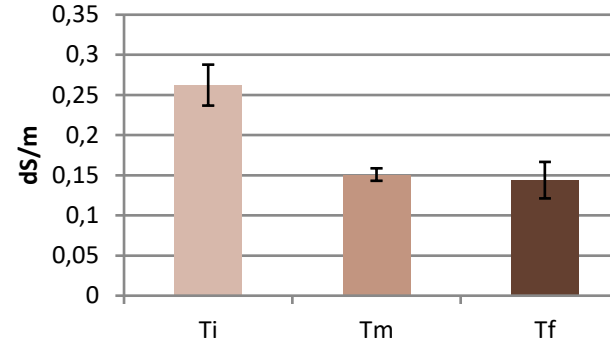


pH



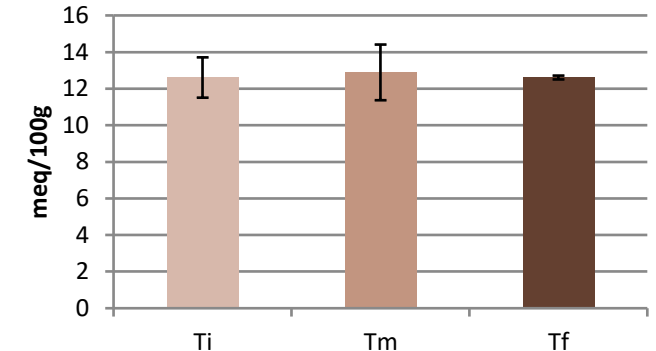
Nessuna variazione nel tempo

Conducibilità elettrica



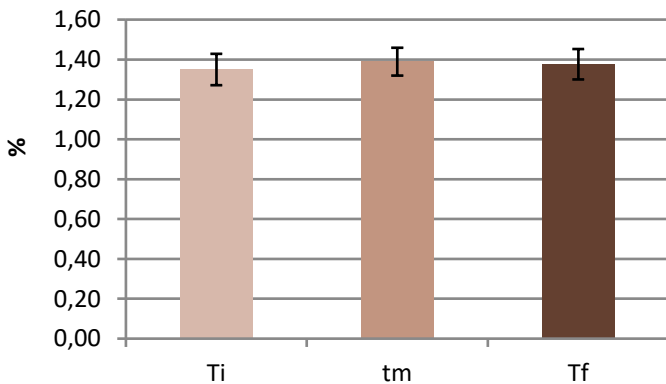
Diminuzione dovuta alla Perdita di sali (piogge)

Capacità di scambio cationico



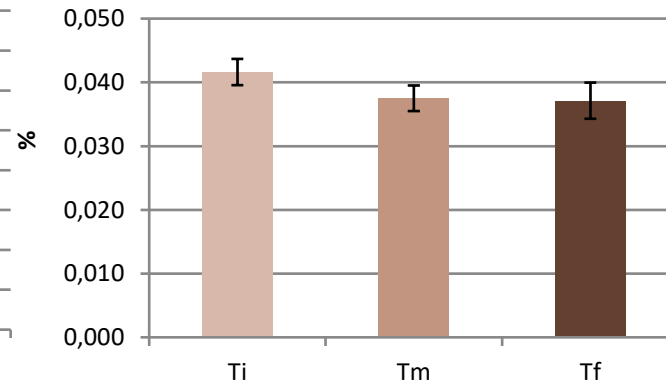
Nessuna variazione nel tempo

Carbonio organico totale

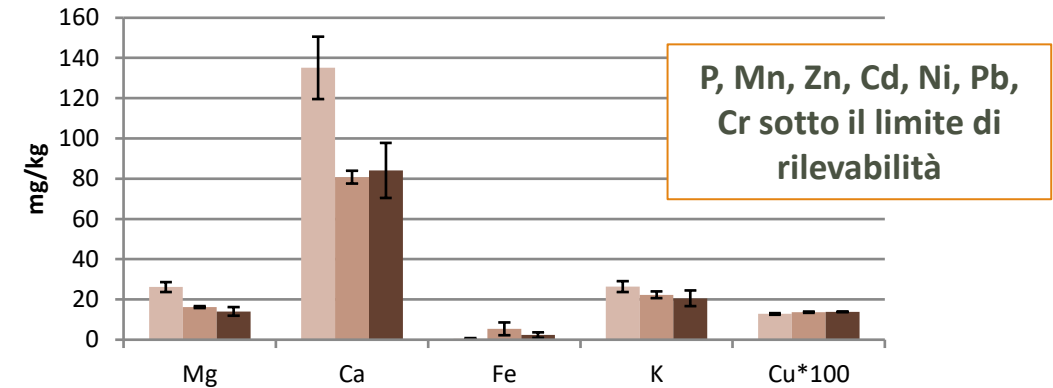


Nessuna variazione nel tempo

Fosforo Totale



Nutrienti e metalli disponibili

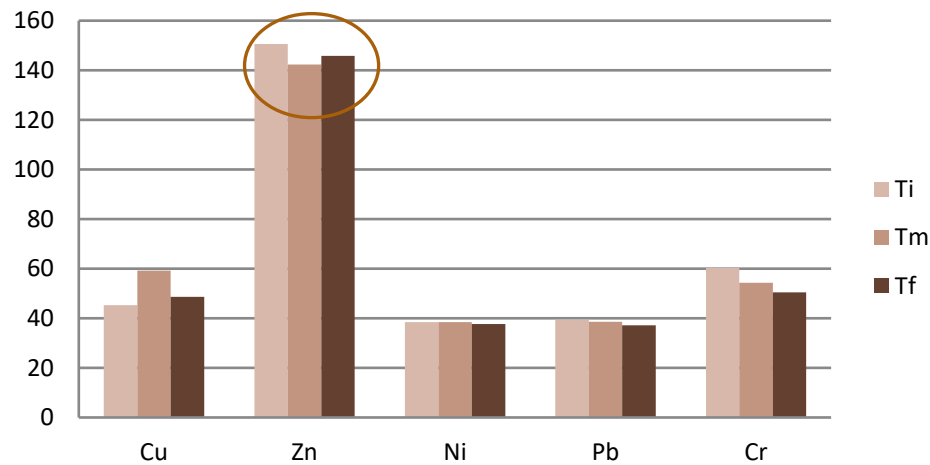


Diminuzione generale (anche per nitrati e ammoniaca), anche se spesso non significativa

Monitoraggio del processo di landfarming: Contaminazione

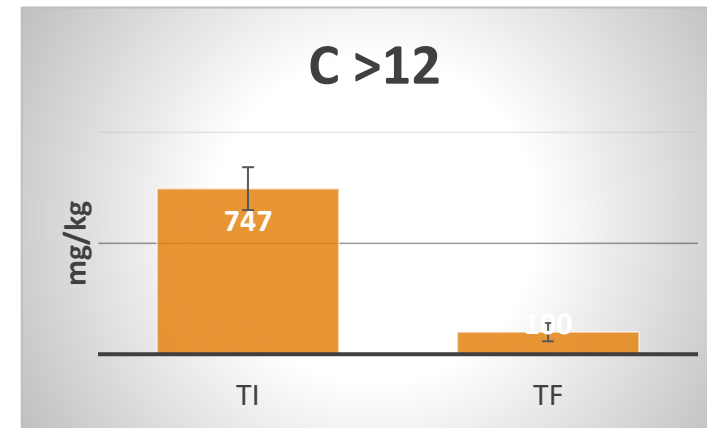
Tutti i metalli, incluso lo Zn, sono inferiori al limite normative per il riutilizzo urbano (Dlg.s 152/206)

Metalli Totali



Come aspettato: nessuna variazione significative dei metalli durante il processo di landfarming

D.Lgs 152/2006	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr	C>12
Uso urbano (mg kg ⁻¹)	2	120	120	150	100	150	50
Uso industriale (mg kg ⁻¹)	15	600	500	1500	1000	800	750
D.M 46/2019							
Uso Agricolo (mg kg ⁻¹)	5	200	120	300	100	150	50(C10-C40)



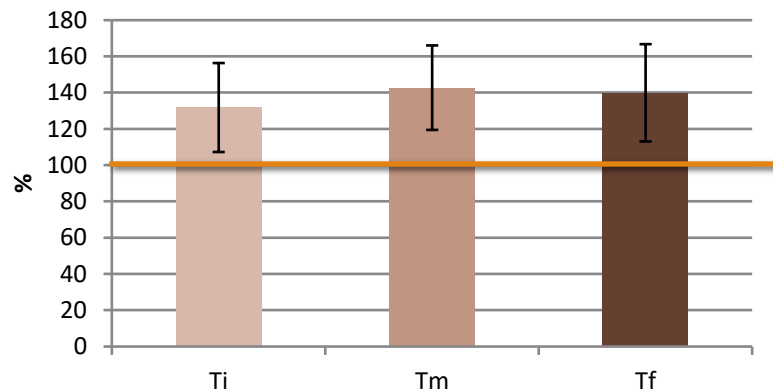
Diminuzione rilevante dei C>12.

Indice di germinazione (circa 140%) indica assenza di tossicità per le piante

Phytotest: *Lepidium sativum* (crescione)

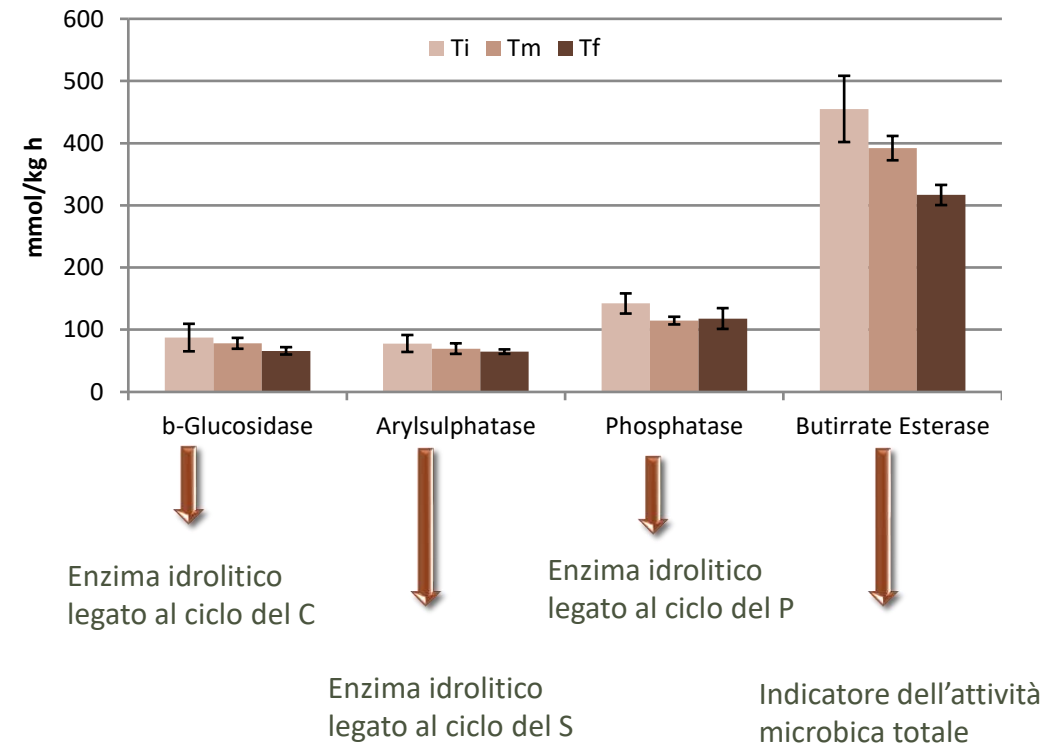


Germination Index



Stimolazione della germinazione del seme

Attività enzimatiche



Diminuzione generale delle attività enzimatiche anche se generalmente non significative ad eccezione della butirrato esterasi

Parametri

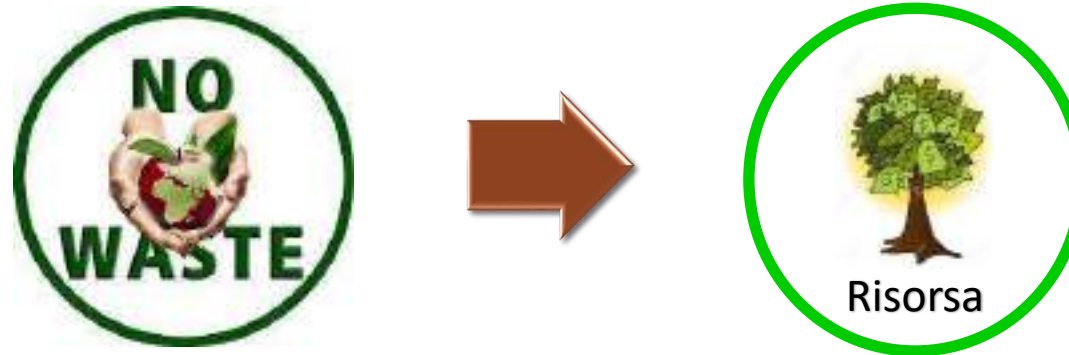
Sedimenti alla fine del landfarming	DM 161/2012 D lgs 152/2006		DM 46/2019 Uso Agricolo	D. lgs. 75/2010 Substrato di coltivazione misto
	Tab A Uso urbano	Tab B. Uso industri ale		
Densità apparente(g/cm ³)	1,19 ±0,05			0,95
pH	7,40 ±0,2			4,5-8,5
Conducibilità elettrica(dS/m)	0,13 ±0,01			<1
TOC %	1,38 ±0,08			>4
TN %	0,11±0,01			<2,5
P ₂ O ₅ %	0,17±0,01			<1,5
Cd (mg/kg)	<LOD	2	15	5
Cu (mg/kg)	48,6 ± 1,7	120	600	200
Hg (mg/kg)	0,070± 0,001	1	5	1
Ni(mg/kg)	37,7 ± 0,7	120	500	120
Pb(mg/kg)	37,2 ± 6,4	100	1000	100
Zn (mg/kg)	145 ± 4	150	1500	300
Cr (mg/kg)	46,2± 3	150	800	150
C>12 (mg/kg)	38,0 ± 6	50	750	-
C 10-C40 (mg/kg)			50	

Caratteristiche fisiche e chimiche paragonabili a quelle di un substrato agronomico (D.lgs 75/2010)



Per raggiungere la concentrazione di TOC e la densità apparente richieste dalla normativa italiana, si è resa necessaria la miscelazione dei sedimenti con una fonte di materia organica ricca di carbonio e leggera, come la torba, fibra di cocco, fibra di legno

La fitorimediazione in associazione con il landfarming ha permesso di ottenere un substrato agronomico utilizzabile in agricoltura in associazione con altri substrati



La possibilità di considerare i sedimenti come **RISORSA** piuttosto che **RIFIUTO** implica necessariamente:

- Il sostegno della ricerca volta all'identificazione di tecnologie innovative
- La disincentivazione del conferimento in discarica
- l'aggiornamento delle politiche ambientali

I risultati ottenuti sottolineano Il grande potenziale del riutilizzo ambientale dei sedimenti di dragaggio, sia in termini di innovazione, sia di possibilità di replica.

Il progetto potrebbe dare un rilevante contributo alla gestione sostenibile dei rifiuti nel pieno rispetto dei principi dell'economia circolare

Grazie per l'attenzione!!!

Grazie ai fondi Europei!!!

Grazie al nostro gruppo!!!



Cristina Macci *Grazia Masciandaro*
Serena Doni *Eleonora Peruzzi*
Manuele Scatena *Davide Manzi*
Francesca Vannucchi

grazia.masciandaro@cnr.it