

PARAMETRI BIOCHIMICI COME INDICATORI DEL PROCESSO DI BONIFICA DI SEDIMENTI E SUOLI

Grazia Masciandaro

ISE-CNR

Istituto per lo Studio degli Ecosistemi

Pisa

Indice

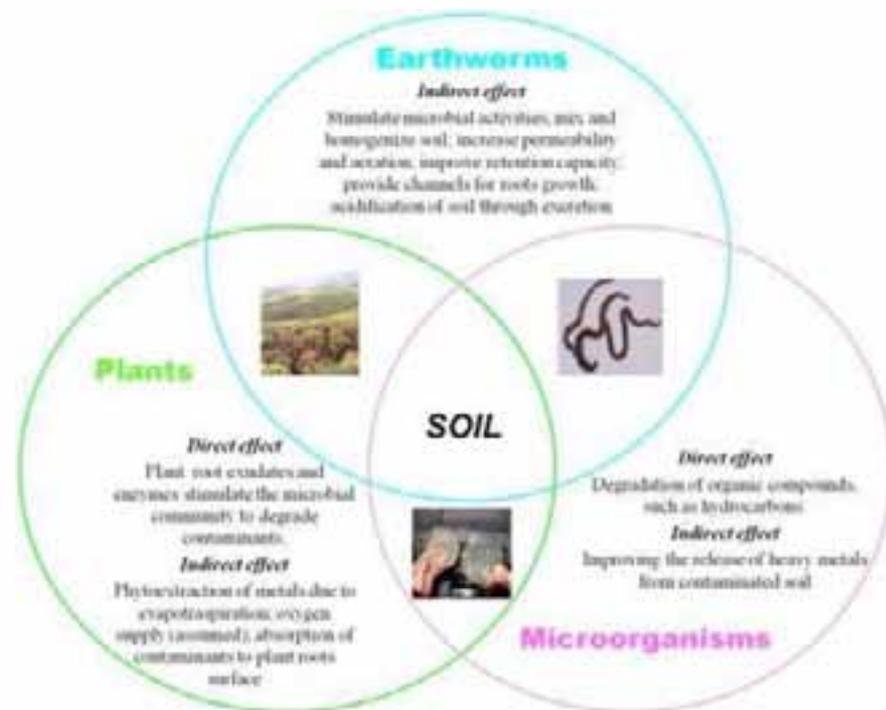
1. Presentazione di una tecnologia
2. Gli indicatori appropriati
3. Condizionamento biofisico dei sedimenti
4. Preparazione del *tecno-suolo*
5. Indicatori di qualità
6. Confronto tecnosuolo - suolo
7. Dalla fase di ricerca alla fase operativa: esempi pratici

Presentazione di una tecnologia

Landfarming

I microrganismi utilizzano le sostanze inquinanti come nutrienti e fonte di energia per i processi di riproduzione e moltiplicazione cellulare

La loro massima efficienza di lavoro si ha quando vivono in un habitat equilibrato. Per questo al CNR-ISE di Pisa si sta sperimentando con successo la ricostruzione di un sistema biologico ternario (TRIAS) composto da microrganismi, pianta e lombrichi. La radice della pianta rilascia nel terreno sostanze nutritive che vengono metabolizzate dai microrganismi per crescere; i lombrichi ingeriscono terreno per assimilare le cellule microbiche e rilasciano molecole biologiche, enzimi, ormoni.



Trias

(Bianchi & Ceccanti, 2009)

TRIAS e TRIAD

“TRIAS è composta da tre sistemi biologici che agiscono in armonia (*effettori*) per bonificare e valorizzare i sedimenti inquinanti..... Quindi concettualmente distinta da “Sediment Quality TRIAD” integrazione di analisi chimiche, biologiche ed ecotossicologiche (*indicatori*) (ICRAM, 1999)

Scelta degli indicatori appropriati

Dalle esperienze maturate nel settore della ricerca e dell'applicazione di piani di recupero ambientale, si possono stabilire tre livelli di indicatori utili:

- **di qualità** (stato chimico – tossicologico)
- **di processo** (efficienza, schemi e cinetiche di reazione, sinergismi e antagonismi)
- **di compatibilità ambientale** (resilienza, interazioni con le altre matrici geologiche, valore ecologico ed economico)

La ricerca si sta orientando lentamente verso la definizione di parametri indicatori innovativi da affiancare a quelli tradizionali al fine di:

1. orientare i processi di bonifica verso le migliori tecnologie
2. definire una scala di valori di riferimento appropriati (benchmark) per i vari e differenziati riutilizzi ambientali
3. orientare e semplificare le normative tecniche del settore

Ricerca: un approccio metodologico

La ricerca deve sempre affiancare le fasi di bonifica, anche quando sono disponibili linee guida, perché il progetto resta comunque *sito-specifico*:

Attività di campo: sopralluoghi e prelievi

Attività di Laboratorio: *Preparazione dei campioni per le analisi chimiche: nutrienti, inquinati organici e metallici, analisi di base*

- *Analisi microscopica dei sedimenti: ricerca di Cianobatteri e Diatomee come indicatori dello stato eutrofico*
- *Analisi chimico-strutturale della sostanza organica (pirolisi-gas cromatografia -Py-GC). Calcolo degli indici di mineralizzazione e umificazione; indici di diversità*

Simulazione di processo: test metabolici, test di biodegradabilità, fito-ecossicità, respirazione biologica su *micro- e macrocosmo*

Trasferimento del processo: *elementi progettuali, impiantistica, analisi costi/benefici, valutazioni ambientali, ottimizzazione*

Elaborazione dati: *stepwise forward regression, PCA, correlazioni*

Consulenza scientifica nelle fasi di realizzazione e di start-up dell'impianto

Fasi di lavoro: Condizionamento biofisico

Tecnosuolo



Miscela sedimento – LIVELLO 0

Tecno-suolo

Sedimento – pianta - lombrico
(LIVELLO INTERMEDIO)



Tecno-suolo



Terreno agronomico
- OBIETTIVO -

Questa fase è necessaria per tutte quelle matrici destrutturate, a composizione limo-argillosa, come i sedimenti di mare o di acque interne

Condizionamento biofisico del sedimento

Tecnosuolo: analogia suolo-sedimento

- Il Suolo è un ecosistema estremamente complesso ed eterogeneo in cui coesistono le componenti biotiche (microrganismi, micro-fauna, enzimi) e abiotiche (argille, humus, complessi organo-minerali) che sono coinvolte nei processi chimico-fisici e biologici.
- Il Sedimento si presenta come una matrice eterogenea complessa, formato da materiale solido aggregato (contaminato da metalli ed idrocarburi), biologicamente inattivo e povero di nutrienti.



La simultanea azione di piante-lombrichi-microrganismi (TRIAS) si pone non solo come un meccanismo di decontaminazione del sedimento, ma anche come sistema per la rivitalizzazione e ripristino delle funzioni biologiche della matrice geologica, sterile e degradata.

Indicatori di qualità del suolo

Per analogia, per i tecnosuoli si utilizzano i parametri di qualità dei suoli

CHIMICI

pH

Conducibilità elettrica

Carbonio organico totale

Frazione di carbonio biodegradabile

Contenuto di N,P,K totali ed estraibili

FISICI

Tessitura

Densità apparente e infiltrazione

Capacità di ritenzione idrica

Umidità e temperatura

BIOLOGICI E BIOCHIMICI

Carbonio (C) della biomassa microbica

Respirazione metabolica del suolo

C-biomassa/C-organico Totale

Respirazione/C-biomassa

Attività enzimatiche

ATP

Indicatori di qualità

Parametri chimici convenzionali

Parametri agronomici: nutrienti (N, P, K), salinità (EC), capacità di scambio cationico (CSC)

Sostanza organica elemento chiave della fertilità

Forme labili (carbonio solubile, WSC)

Forme stabili (humus)

Sostanze inquinanti: inorganici (metalli pesanti) organici (idrocarburi)

I nutrienti e il carbonio organico solubile sostengono la vita microbica e la nutrizione della pianta.

Le sostanze umiche regolano le proprietà fisico-strutturali del terreno formando aggregati organo-minerali stabili che migliorano la struttura, permeabilità, porosità, ecc).

Le sostanze umiche bloccano anche irreversibilmente i metalli pesanti e microinquinanti organici: effetto positivo o negativo per la decontaminazione

Indicatori di qualità

Parametri microbiologici e biochimici

Bioindicatori dello stato del suolo

- Studi a livello di popolazione microbica: quantità degli organismi viventi e specie sensibili
- Studi a livello di comunità biotica: biodiversità
- Studi a livello di ecosistema: processi coinvolti nella trasformazione della sostanza organica e nei cicli dei nutrienti (attività microbica).

ATTIVITÀ MICROBICA

A. Parametri generali (includono le variabili direttamente legate all'attività microbica):

1. ATP: indica la velocità metabolica
2. Produzione di CO₂: stima la velocità di un processo generale
3. Attività deidrogenasica (enzima intracellulare): indica l'attività microbica totale

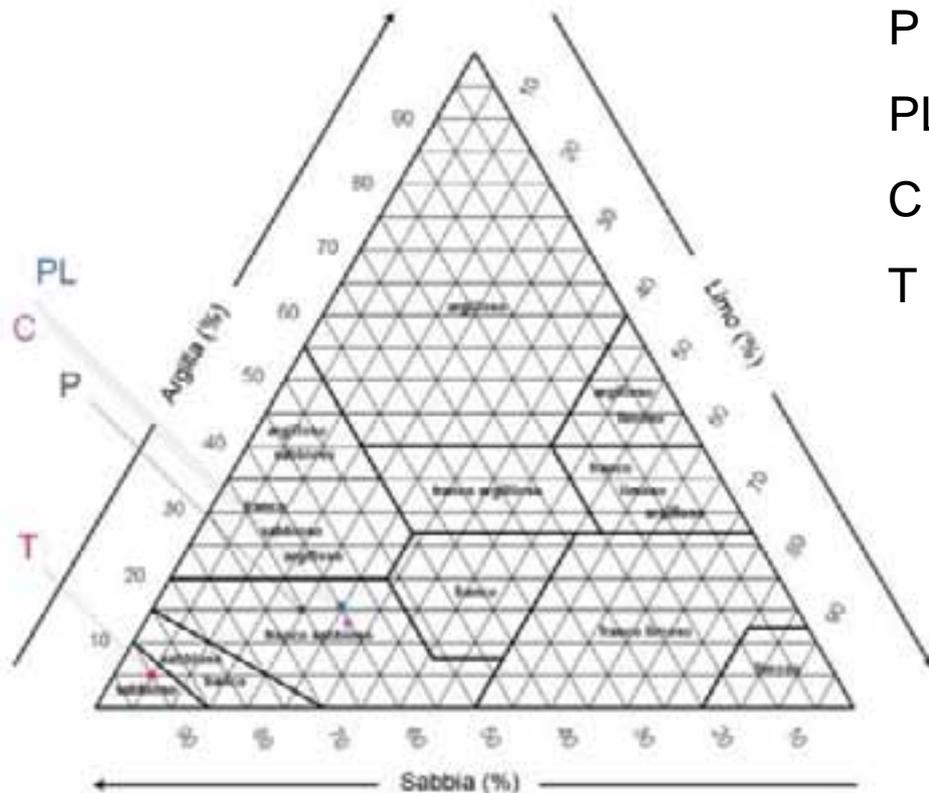
B. Parametri specifici (attività di enzimi idrolitici coinvolti nei cicli dei nutrienti):

1. Ureasi, Proteasi
2. Fosfatasi, β-glucosidasi

Indicatori di qualità

Parametri fisici

Caratterizzazione granulometrica



P = piante (*Paspalum vaginatum*)

PL = piante + lombrichi (*Eisenia foetida*)

C = controllo

T = terreno di riferimento

La metodologia proposta serve a portare la matrice del sedimento (destrutturata) a valori simili a quelli dei suoli naturali; questo permette di applicare con successo le tecnologie biologiche)

P, PL, C = tessitura franco-sabbiosa

T = tessitura sabbiosa

Confronto tecnosuolo – suolo

Parameters	Units	Measured in treated sediment	Value ranges for agronomic soils	Refs.
pH	-	8.20 – 8.56	7.3-8.1 sub-alkaline; < 8.2 alkaline < 2000 viable for all cultivations 2000-4000 risk for sensitive cultivations	Malquori and Radaelli, 1986; Sequi, 1989
Electrical conductivity	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1540 - 3625	4000-8000 risk for all cultivations 8000-16000 not tolerated by any cultivations	Malquori and Radaelli, 1986; Violante, 2000
Tot organic C	(g/kg)	13 - 20	For a sandy loam soil: <7 low; 7-9 normal; 9-12 good; >12 very good	Sequi, 1989; Violante, 2000
Total N	(%)	0.08 – 0.19	0.15 – 0.4 mean value	Malquori and Radaelli, 1986; Sequi, 1989
Total P	(g/kg)	0.18 – 0.77	0.2 - 5 mean value	Malquori and Radaelli, 1986; Sequi, 1989
Total K	(g/kg)	5.5 – 6.5	0.8 - 40	Malquori and Radaelli, 1986; Violante, 2000
Total Na	(g/kg)	9.5 - 25	0.8 – 25	Sequi, 1989; Violante, 2000
C/N	-	9.8 - 16	< 8 low; 8 - 12 medium; > 12 high	Sequi, 1989; Violante, 2000
Soluble P	(mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$)	100 - 230	> 70 required content	Violante, 2000
Bulk density	(g/cm ³)	0.90 – 0.92	1-1.4 structured soil; 1.2-2 non-struct. soil	Violante, 2000
C.E.C.	(meq/100g)	16 - 18	<10 low; 10-20 medium; > 20 high	Sequi, 1989; Violante, 2000
Soil texture	-	Sandy-loam	Sandy-loam	USDA
β -Glucosidase	(μg PNP/gh)	15 -30	20-200 degraded soils; 140-700 natural soils	Chander <i>et al.</i> , 1997; Trasar-Cepeda <i>et al.</i> , 2008
Phosphatase	(μg PNP/gh)	120 - 200	100-200 cultivated soils	Chander <i>et al.</i> , 1997; Trasar-Cepeda <i>et al.</i> , 2008
Urease	(μg N ⁴⁺ /gh)	10 - 30	20-40 natural soils	Garcia and Hernandez, 2000
Cu	(mg/kg)	20 - 30	5 - 17	Masciandaro <i>et al.</i> , 2006
Zn	(mg/kg)	110 - 130	20 - 40	Masciandaro <i>et al.</i> , 2006
Ni	(mg/kg)	0 - 1	0 - 1	Masciandaro <i>et al.</i> , 2006

 (Bianchi *et al.*, 2009 – Bosicon Roma)

Esperienze al CNR-ISE di Pisa: sedimenti marini

Bonifica e recupero agro-ecologico (Tecnosuolo)

Applicazione della tecnica di **landfarming** assistita per la decontaminazione e il recupero agro-ecologico (tecnosuolo) di sedimenti marini derivanti da attività di dragaggio del porto.

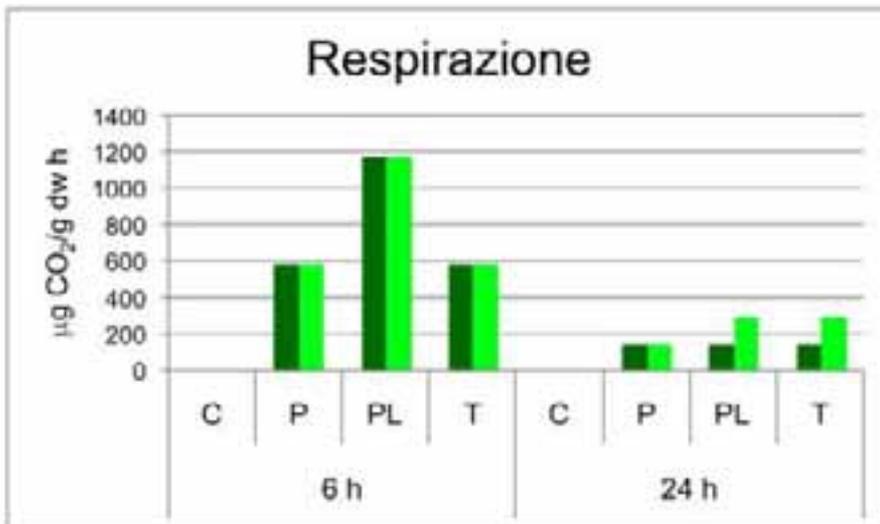
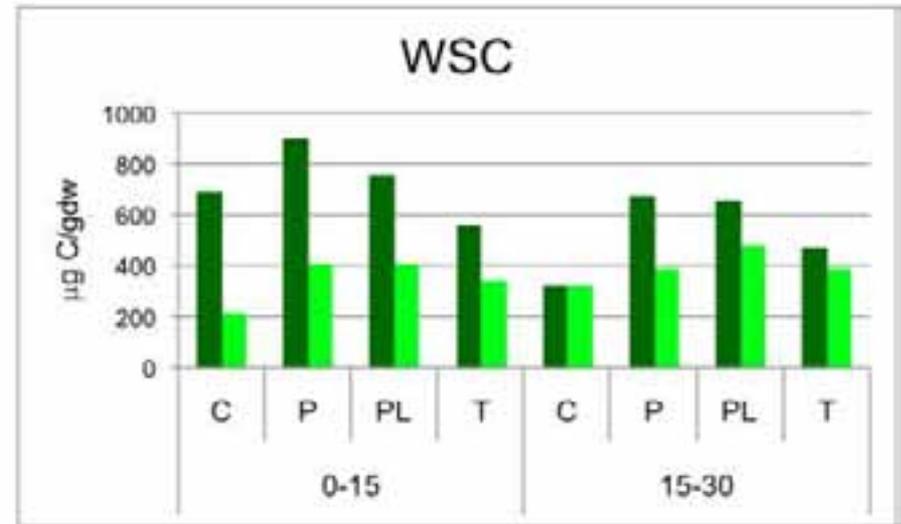
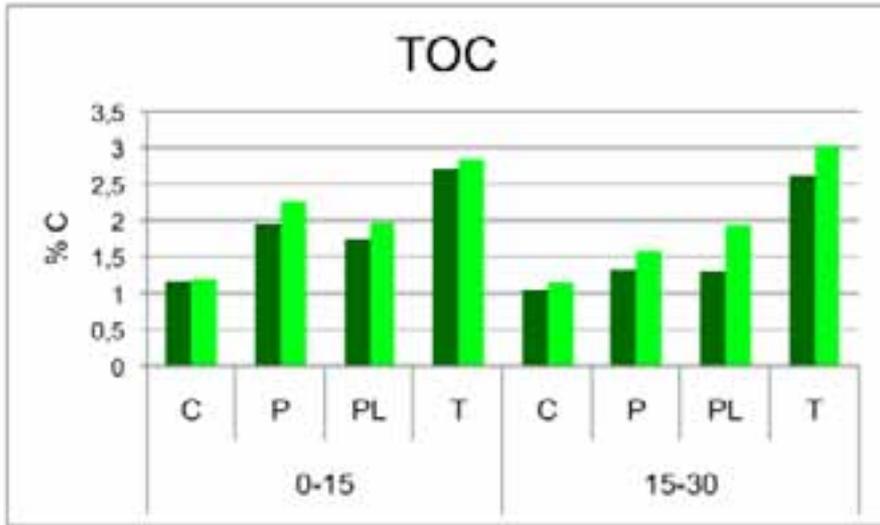
Impianto Pilota su scala di mesocosmo



Stadio iniziale ..condizionamento.. Landfarming .. Stadio finale

Dalla fase di ricerca alla Fase operativa: esempi

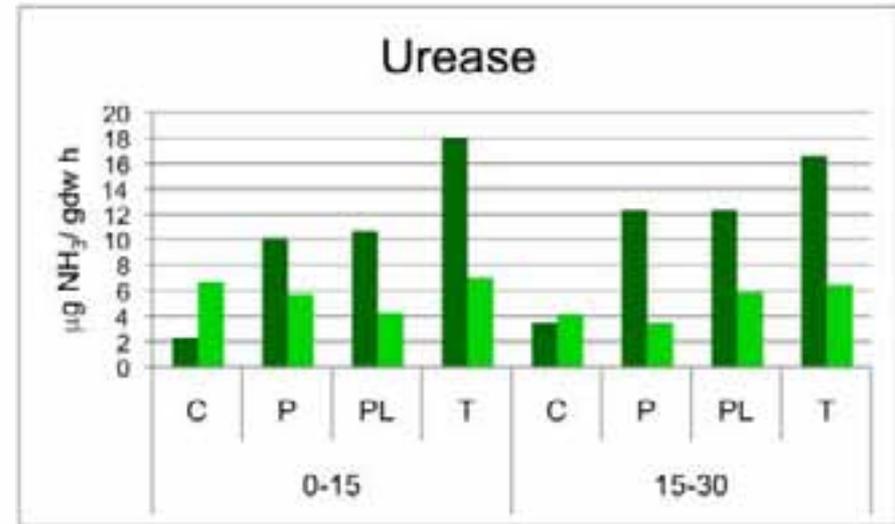
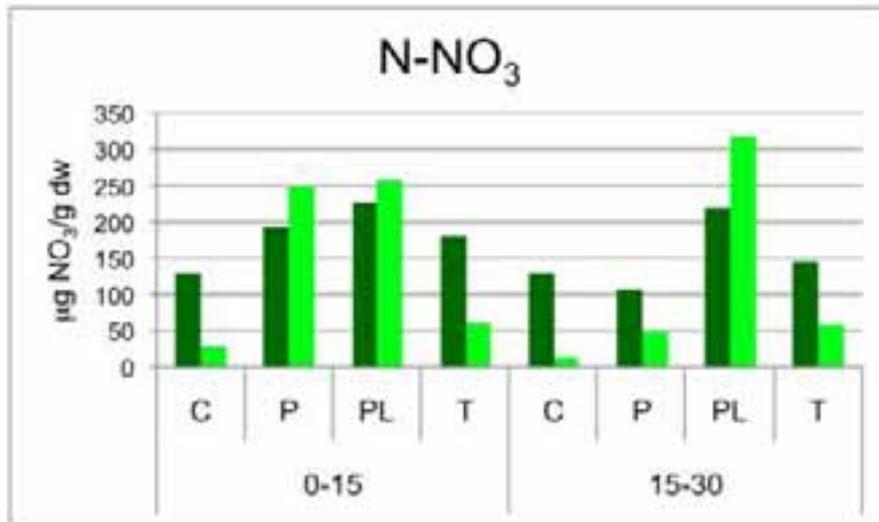
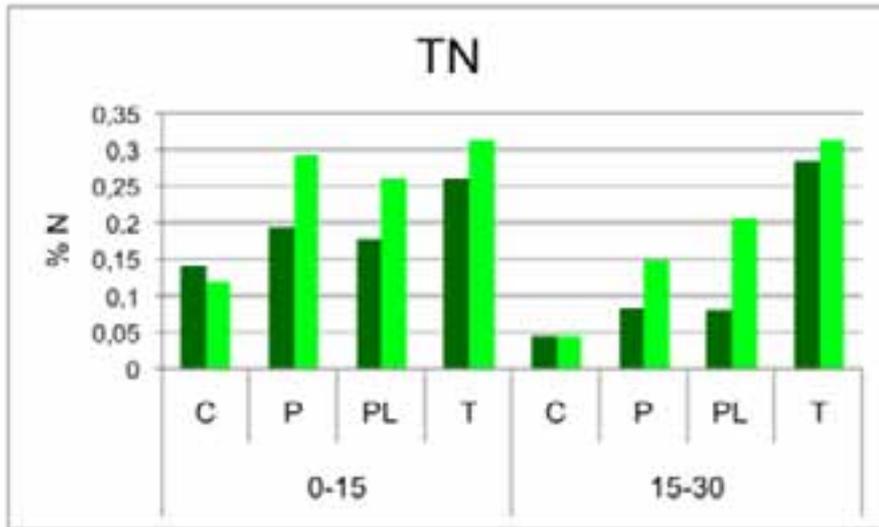
Confronto tecnosuolo - suolo



Tempo iniziale **6 mesi**

Dalla fase di ricerca alla Fase operativa: esempi

Confronto tecnosuolo - suolo



Tempo iniziale



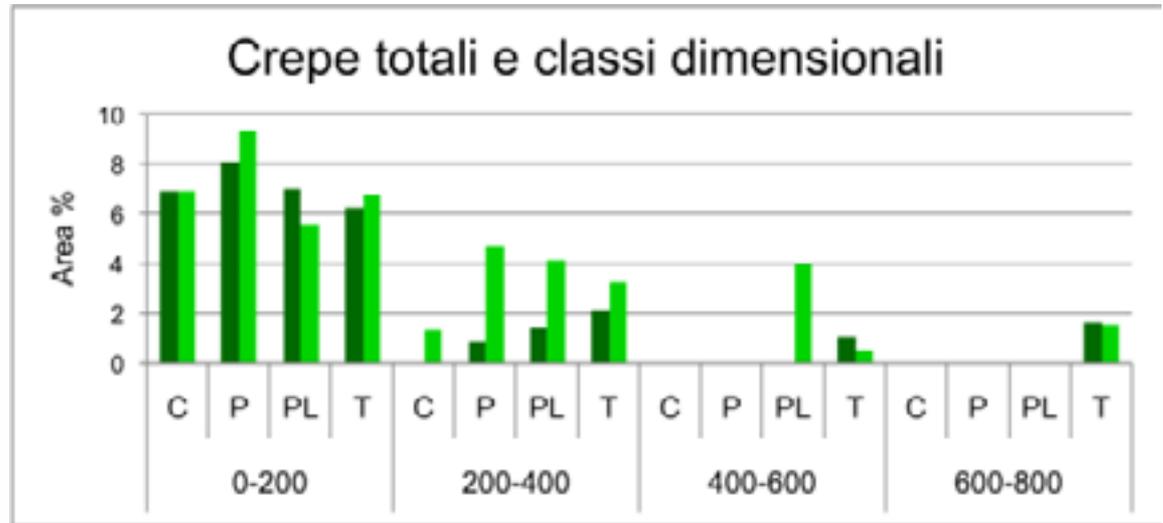
6 mesi

Dalla fase di ricerca alla Fase operativa: esempi

Confronto tecnosuolo - suolo

 Tempo iniziale

 6 mesi



T



C



P



PL



Fase di ricerca



Fase operativa ed esecutiva

Scala di laboratorio



Scala reale



Scala pilota (meso)



1. Finanziamento Regione Toscana e Comune di San Giuliano Terme (Pisa) **Intervento biologico per il recupero della discarica di Madonna dell'Acqua (Pisa) mediante tecniche naturali**
2. Progetto Europeo co-finanziato dal Ministero dell'Ambiente: Eco-Innovation – Pilot and Market Replication Projects: N° 239065, **Agricultural Reuse of Polluted Dredged Sediments, AGRIPORT**
3. Finanziamento CNR-ISE (Pisa): **Gestione dei sedimenti lacustri**

Bioremediation del terreno: scala reale

L'approccio TRIAS è stato applicato per la decontaminazione di un terreno inquinato in località San Giuliano Terme (Pisa)



Caratterizzazione del sito:

Caratterizzazione sistemazione del terreno nel sito di bonifica:

- Rimozione del suolo (circa 1 m) fino allo strato di argilla
- Vagliatura per rimuovere materiali ingombranti
- Deposizione del terreno



Bioremediation del terreno: scala reale

Messa a dimora delle piante



Paulownia tomentosa
(Princesstree)



Cytisus scoparius
(Scotch broom)



Populus nigra var. Italica
(Lombardy poplar)

Bioremediation del terreno: scala reale

.....sei mesi dopo



Fitodepurazione delle acque di infiltrazione

