

# VALORIZZAZIONE DEI PARAMETRI BIOCHIMICI COME INDICATORI DEL PROCESSO DI BONIFICA DI SEDIMENTI E SUOLI

**Grazia Masciandaro**

ISE-CNR

Istituto per lo Studio degli Ecosistemi

Pisa

## Indice

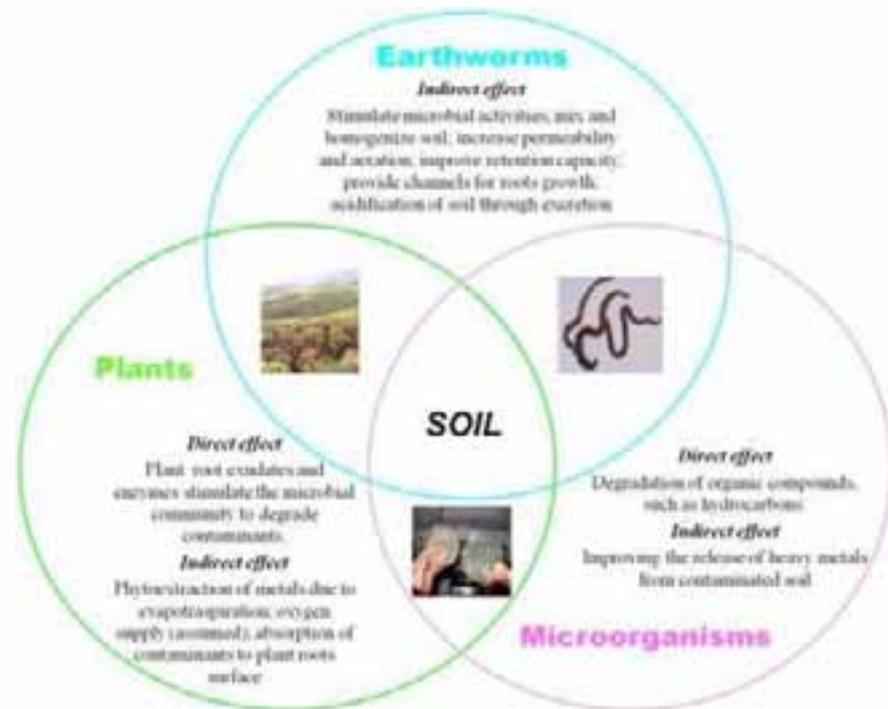
1. Presentazione di una tecnologia
2. Gli indicatori appropriati
3. Condizionamento biofisico dei sedimenti
4. Preparazione del *tecno-suolo*
5. Indicatori di qualità
6. Confronto tecnosuolo - suolo
7. Dalla fase di ricerca alla fase operativa: esempi pratici

## 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 CO<sub>2</sub>: stima la velocità di un processo generale
3. Attività deidrogenasica (enzima intracellulare): indica l'attività microbica totale

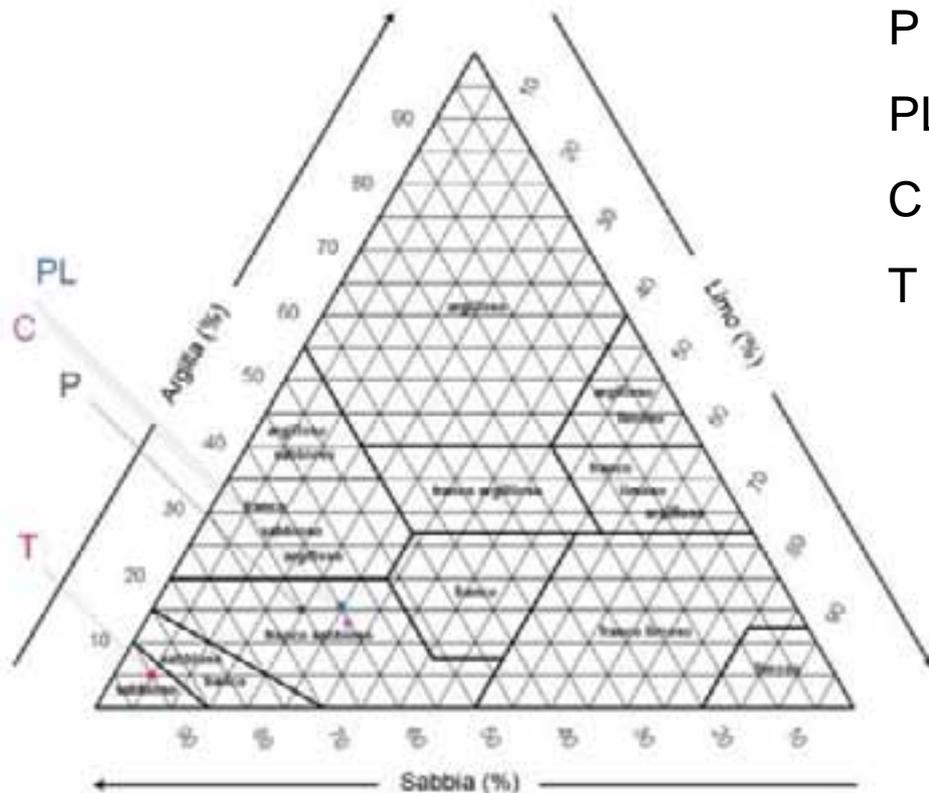
##### B. Parametri specifici (attività di enzimi idrolitici coinvolti nei cicli dei nutrienti):

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 <sup>3</sup> )	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
$\beta$ -Glucosidase	( $\mu\text{g}$ 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	( $\mu\text{g}$ PNP/gh)	120 - 200	100-200 cultivated soils	Chander <i>et al.</i> , 1997; Trasar-Cepeda <i>et al.</i> , 2008
Urease	( $\mu\text{g}$ $\text{N}_4^+/\text{gh}$ )	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.

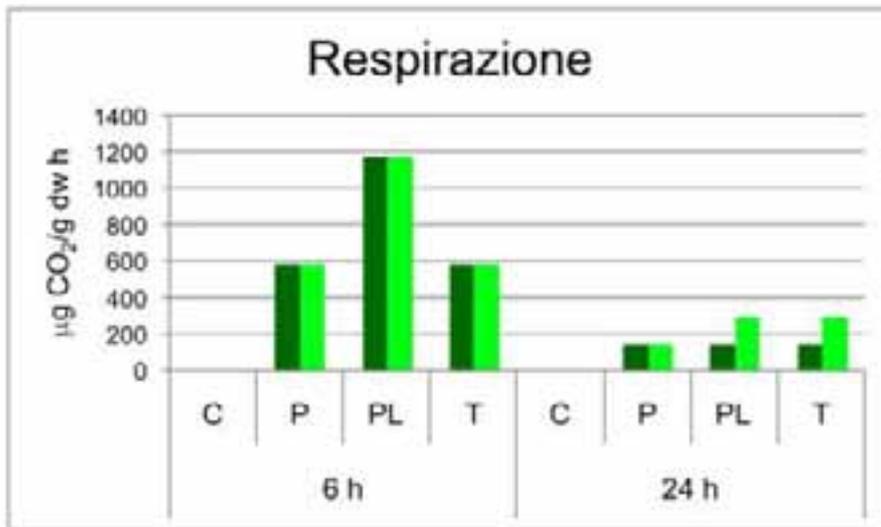
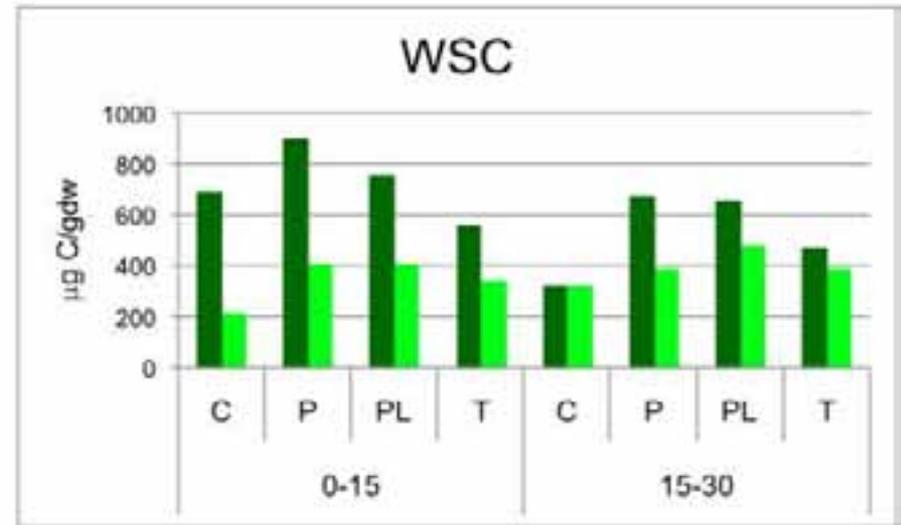
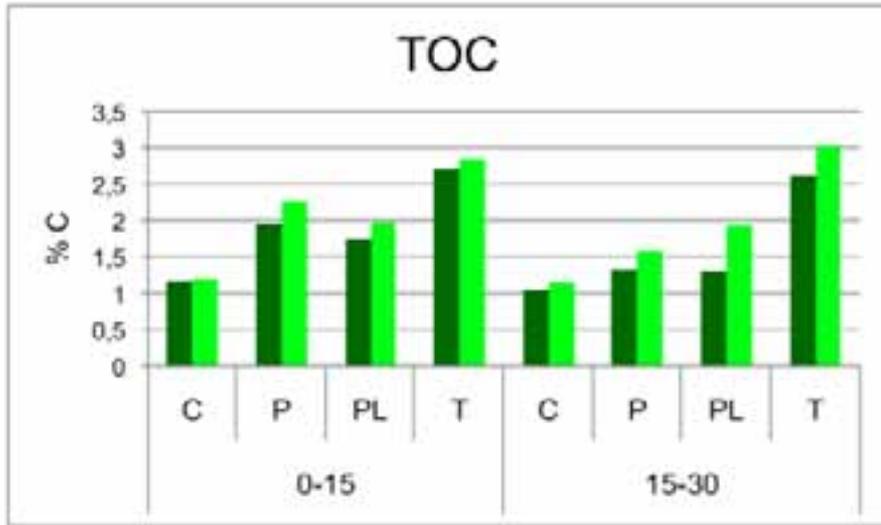
#### Impianto Pilota su scala di mesocosmo



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

### Dalla fase di ricerca alla Fase operativa: esempi

#### Confronto tecnosuolo - suolo



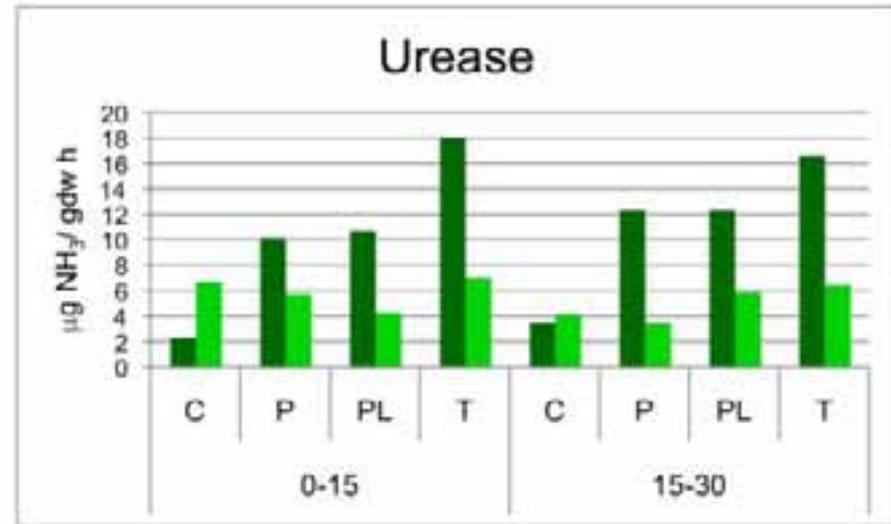
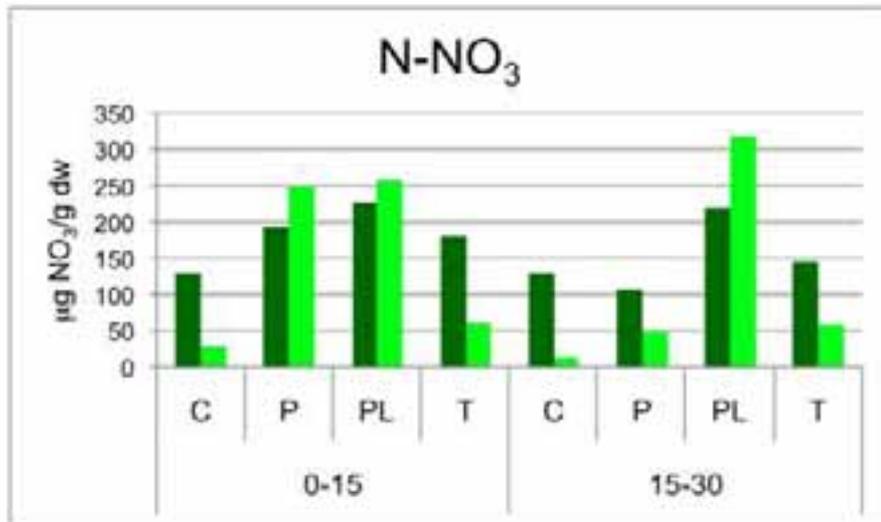
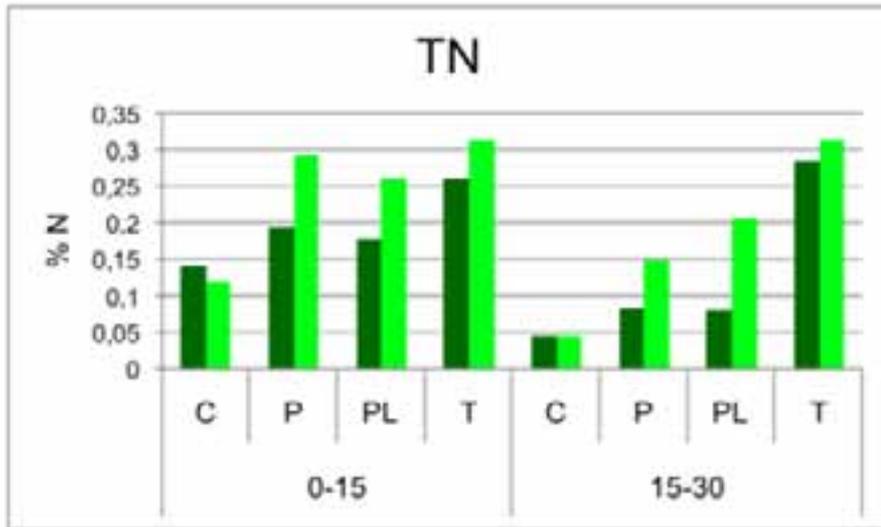
Tempo iniziale



6 mesi

### Dalla fase di ricerca alla Fase operativa: esempi

#### Confronto tecnosuolo - suolo



Tempo iniziale



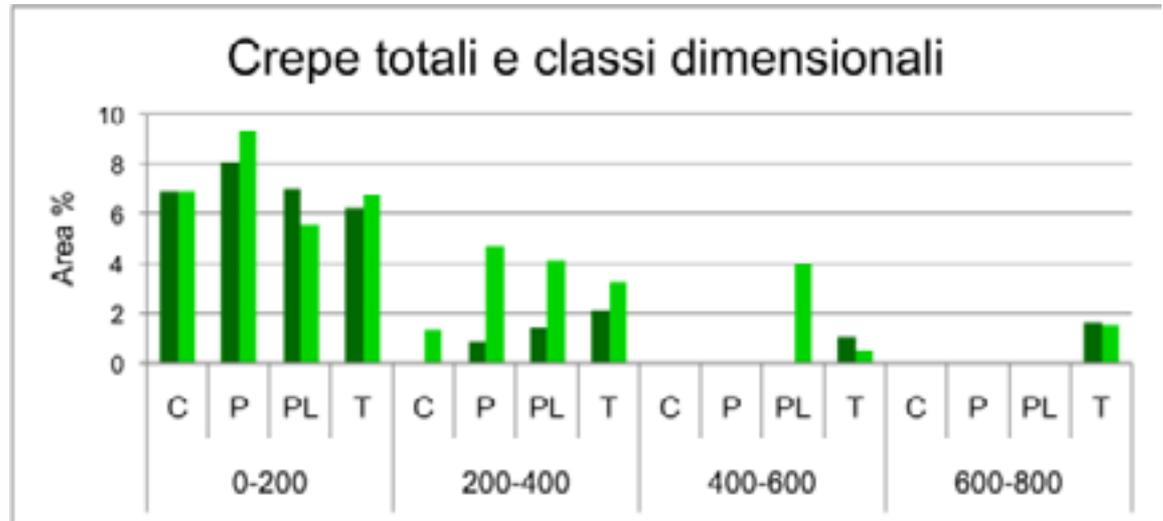
6 mesi

# Dalla fase di ricerca alla Fase operativa: esempi

## Confronto tecnosuolo - suolo

 Tempo iniziale

 6 mesi



**T**



**C**



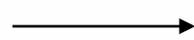
**P**



**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)



*Populus nigra var. Italica*  
(Lombardy poplar)

*Cytisus scoparius*  
(Scotch broom)

## Bioremediation del terreno: scala reale

.....sei mesi dopo



Fitodepurazione delle acque di infiltrazione

