

# Fitoremedio

Usare la fisiologia e la morfologia delle piante per  
ripulire i terreni danneggiati

Il contesto fisiologico

Esempi reali

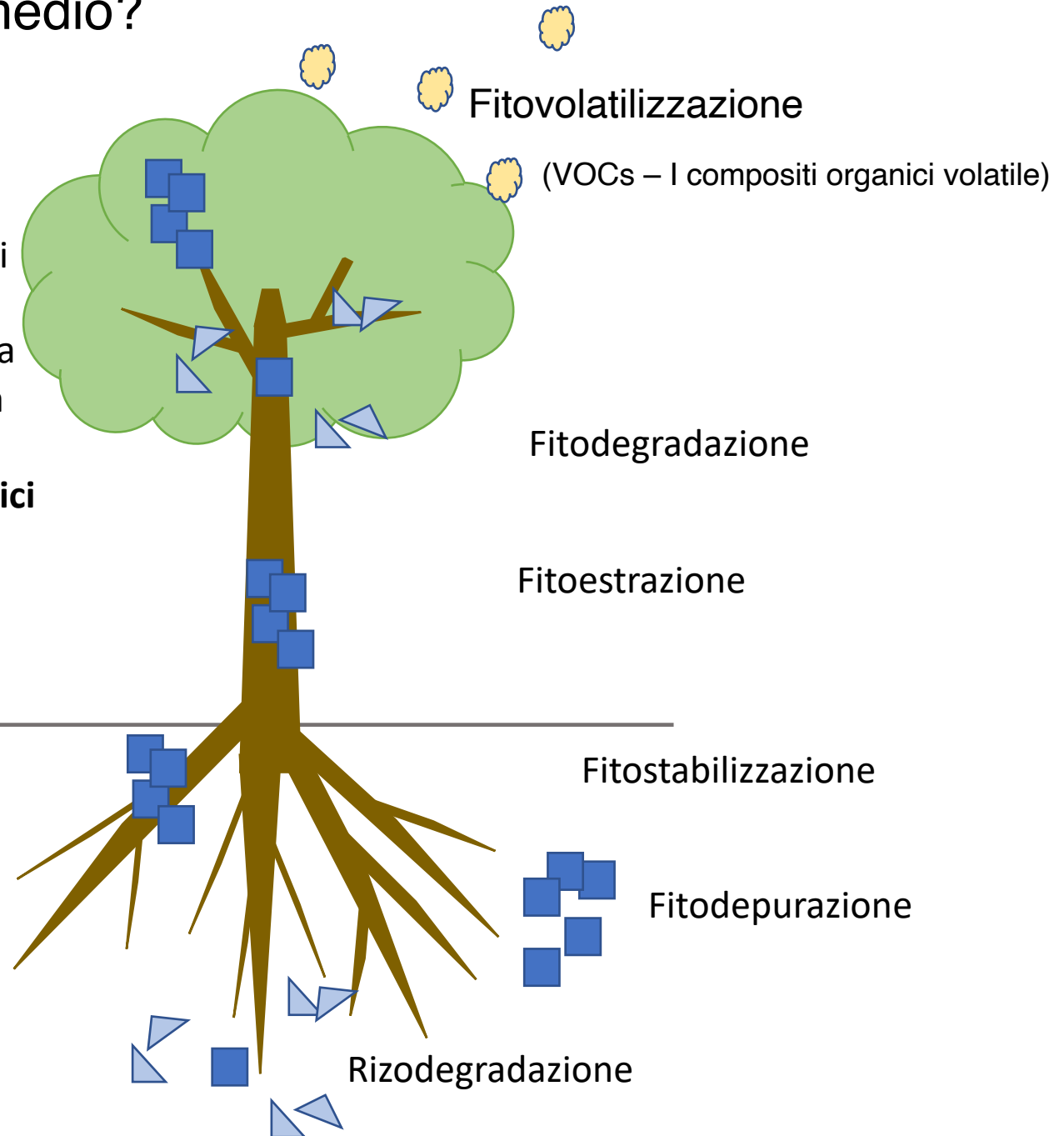
# Che cos'è il fitoremedio?

## Definizione:

Fitoremedio è uno dei diversi tecnici nel gruppo dei fitotecnologi per migliorare la qualità del suolo e dell'acqua contaminato dai **metalli pesante ed i composti organici e inorganici con le piante e i loro microbi associati**

Il fitoremedio è ecologico, ma...

... ci vuole tanto tempo per avere un effetto significativo!



# Quale situazione sono più adatte per l'applicazione di fitoremedieo?

Recupero della terra intorno una miniera (mine tailings)

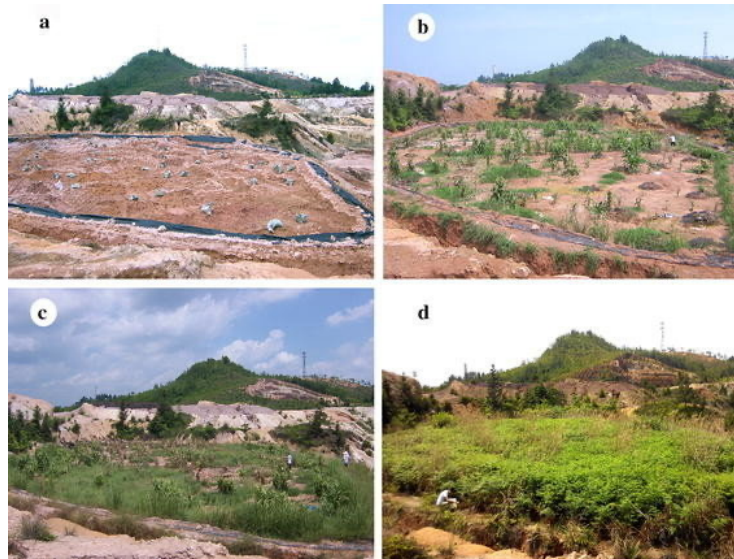
Risanamento ambientale dei 'brownfield'- le aree dismesse: I siti abbandonati e contaminati (per esempio dopo la chiusura di una fabbrica)

I siti di smaltimento dei rifiuti

Risanamento ambientale dopo un fuoriuscita dei chimici

**I contaminanti più comuni sono:**

- Metalli pesanti
- Erbicide
- Pesticide
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)
- Ammoniacal N



Mercury mine tailings  
Liu et al., 2016 *SpringerPlus*: 5



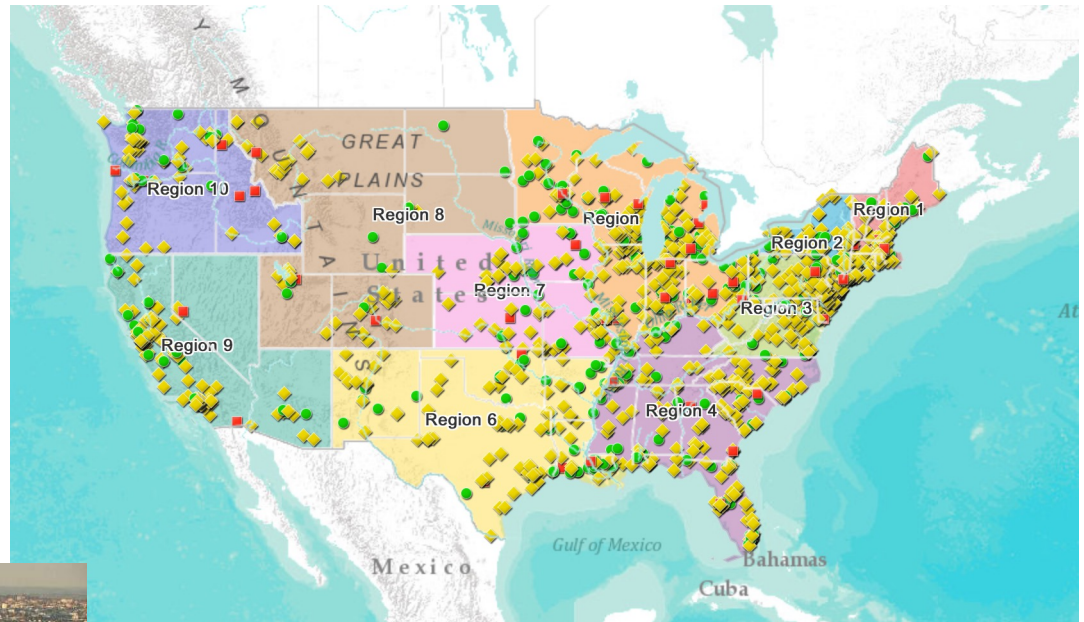
Agricultural land contaminated by hydrocarbons  
*Journal of Soils and Sediments* 2002 2: 91-99

# Perche abbiamo bisogno del fitoremedio?

1322 siti classificati come 'Superfund sites' negli stati uniti, e ~500,000 'brownfield sites'

30,000 siti classificati come 'brownfield sites' in Canada e 3 milioni nel EU (in 2014)

Senza intervento, i contaminanti si diffondono nel suolo, nell'aria e nell'acqua di fonda



I metodi tradizionali come il rimozione e sostituzione del suolo e trattamenti con i chimici per stabilizzare i contaminanti sono costosi, invasivi e limitati

**Tanti siti sono nelle zone urbane**

**È lento, ma Fitoremedio è ecologico e esteticamente piacevole**

# Fitoremedio: Inspirata da iperaccumulatori di metalli pesanti

- In generale i metalli pesanti ad alte concentrazioni sono tossici per le piante, anche i nutrienti essenziali Zn e Cu
- Ma ci sono le specie delle piante che sono presente spontaneamente, spesso attraverso l'evoluzione delle fisiologie adattative:

➤ **Sul Serpentine** – un suolo naturalmente ricco di magnesio, ferro e metalli pesanti come nichel, rame, e zinco

➤ **Sui i rifiuti inerti dalle miniere**

Iperaccumulatori hanno:

> 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  cadmio, tallio or selenio

> 300  $\mu\text{g g}^{-1}$  of cobalto, rame or cromo

> 1000  $\mu\text{g g}^{-1}$  of nichel, arsenico, piombo or rare earth elements (REEs)

> 3000  $\mu\text{g g}^{-1}$  of zinco, o > 10 000  $\mu\text{g g}^{-1}$  of manganese nel loro foglie (peso secco) (Baker and Brooks, 1989; Reeves, 2003; van der Ent et al., 2013)



*Alyssum bertolonii*



*Pteris vittata* (Chinese brake fern): Arsenio



*Noccaea caerulea*: Zinco




*Arabidopsis halleri*: Cadmio

# La selezione delle piante per fitoremedio

## Quali sono i tratti desiderati?

1. Una tolleranza per i contaminati
2. Una capacità aumentata:
  - a. l'assorbimento dei metalli pesanti
  - b. L'accumulazione dei metalli pesanti
3. Un alto tasso di crescita; alto livello di produttività
4. Aumentato o ridotto conversione dei contaminati ai prodotti secondari (VOCs) – dipende sul progetto



Iperaccumulatori  
semberebbero ideale  
ma la maggioranza ha  
un basso tasso di  
crescita!

**La fisiologia è il fattore principale!**

Ci sono diverse meccanismi tra cui le piante possono sopravvivere sul terreno tossico che potrebbero essere sfruttato per l'obiettivo di fitoremediation

**Dallo prospettiva vegetale**

**Dallo prospettiva umana**

Esclusione e tolleranza

I contaminanti non entrano i tessuti della pianta

**Rizodegradazione, fitofiltrazione, fitostabilizzazione**

Assorbimento e tolleranza

La regolazione della fisiologia per accomodare la presenza del composto tossico

**Fitoestrazione**

Miglioramento

I contaminanti entrano la piante, ma diventano sequestrati, tamponati o chelati internamente

**Fitodegradazione, fitovolatilizzazione**

# Esclusione e tolleranza

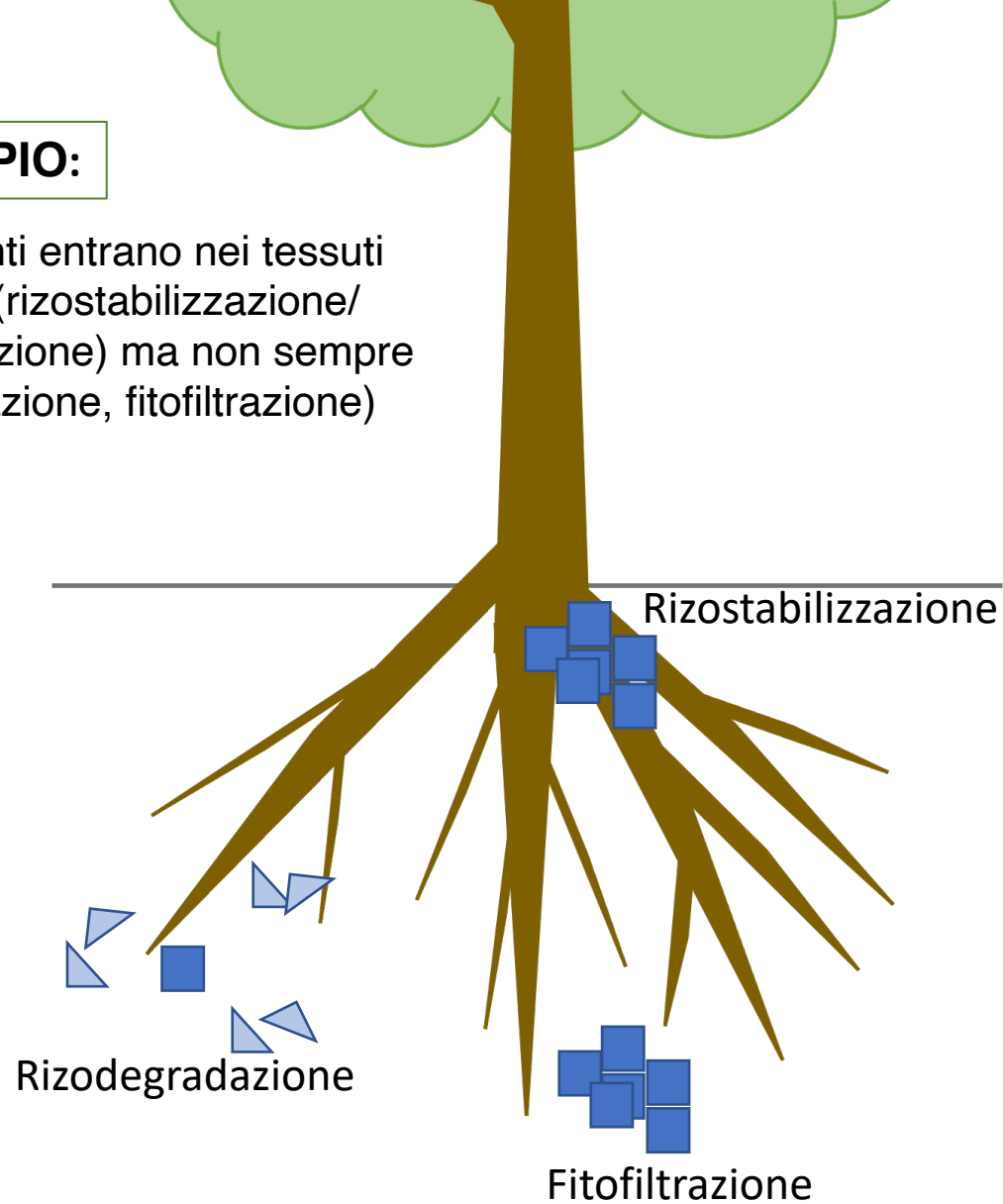
(Rizodegrazation, rizostabilizzazione, fitofiltrazione)

## IL PRINCIPIO:

I contaminanti entrano nei tessuti delle piante (rizostabilizzazione/ fitostabilizzazione) ma non sempre (rizodegradazione, fitofiltrazione)

## LE PIANTE DOVREBBERO:

- Mostrare un alta capacità per supportare e favorire i rapporti fra i radici e la comunità microbica nel suolo
- Rilasciare le sostanze (essudati) che contengono gli amminoacidi, i carboidrati ed i flavonoidi per stimolare la crescita dei microorganismi nel suolo che fanno degradare i contaminanti
- Mostrare un alto livello di tolleranza per la concentrazione dei contaminanti nei tessuti, soprattutto i radici





# Esclusione e tolleranza

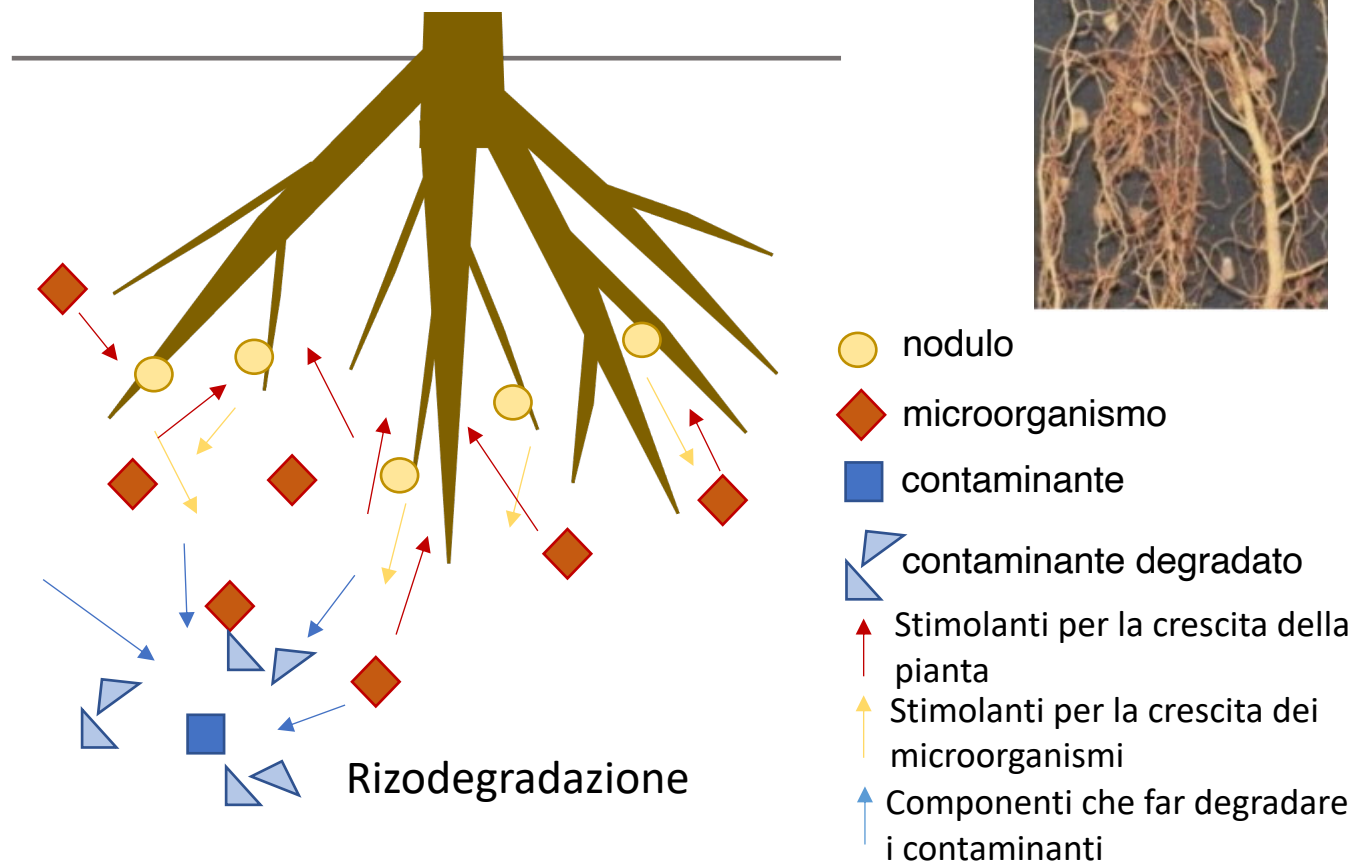
Esempio:  
rizodegradazione

Uno studio con la pianta *Cajanus cajan* (pigeon pea) coltivato nel suolo contaminato con idrocarburi POS (Petroleum oily sludge) ha mostrato un aumento nella diversità dei microorganismi e un aumento nella degradazione del POS  
(Allamin et al., 2021 Agronomy 11)

## Il meccanismo:

*C. cajan* è una pianta leguminosa – fissa azoto atmosferico con i batteri nei noduli dei radici

C'è uno scambio dei prodotti e stimolanti fra i radici, i noduli ed gli microorganismi che favorisce la loro crescita



Photos from: Sreeharsha et al., 2015; Plant Science 21



# Assorbimento e tolleranza

## IL PRINCIPIO:

I contaminanti entrano nei tessuti delle piante, rimangono nei radici o sono traslocati nei fusti e le foglie

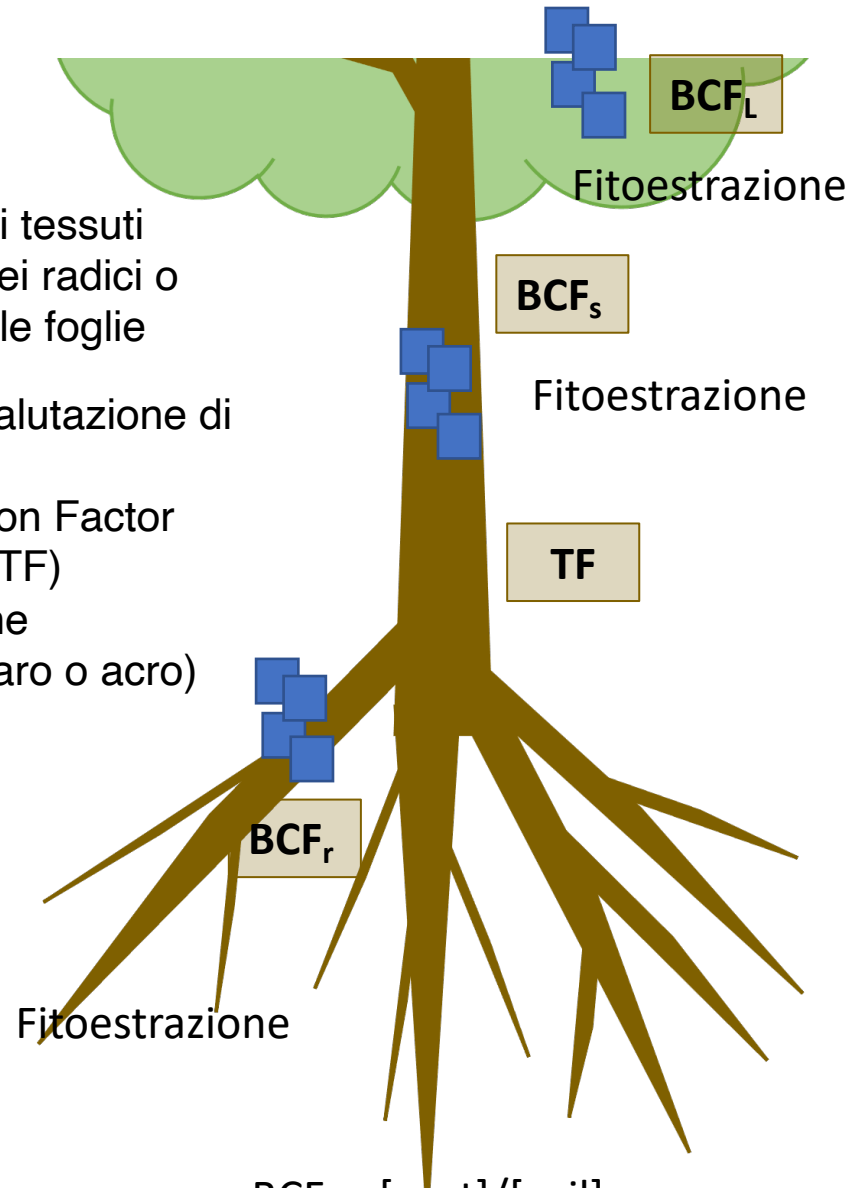
(Fitoestrazione)

I fattori importanti per la valutazione di un progetto:

- 1) Biological Concentration Factor
- 2) Translocation Factor (TF)
- 3) Il tasso di fitoestrazione (g/unità superficie; ettaro o acro)

## LE PIANTE DOVREBBERO:

- Mostrare un alta capacità per l'assorbimento dei contaminanti (più spesso i metalli pesanti):  $BCF > 1$
- Possedere un alta capacità per traslocare i contaminanti ovunque nella pianta (TF)
- Avere una tolleranza alta per contaminanti specifici
- Avere un rapido tasso di crescita (i pioppi, le salice)
- Preferibilmente, tutte 4!



$$BCF_r = [\text{root}]/[\text{soil}]$$

$$BCF_s = [\text{shoot}]/[\text{soil}]$$

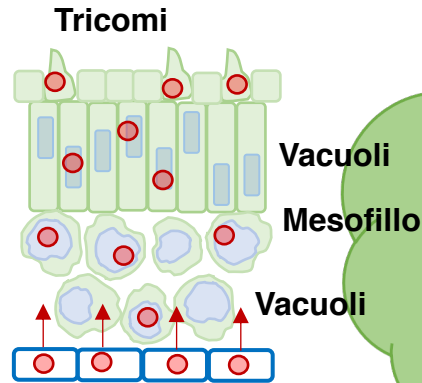
$$BCF_L = [\text{leaf}]/[\text{soil}]$$

$$TF = [\text{root}]/[\text{shoot}]$$

# Assorbimento e tolleranza

Esempio:  
Fitoestrazione,  
fitostabilizzazione,  
rizostabilizzazione

Vengono scaricati nelle cellule mesofilla e nei tricomi

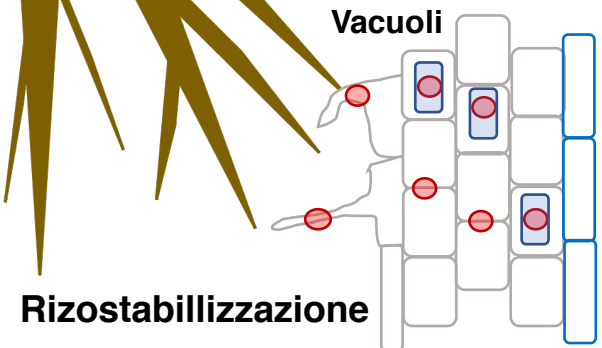
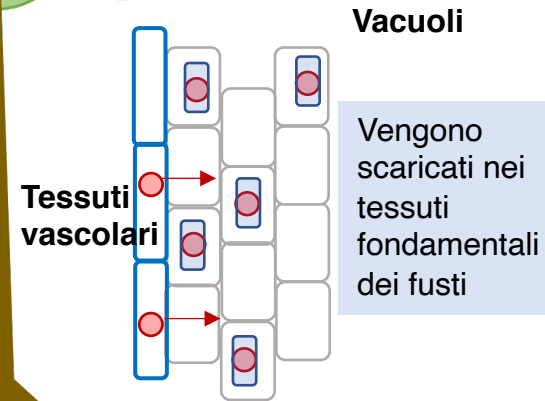
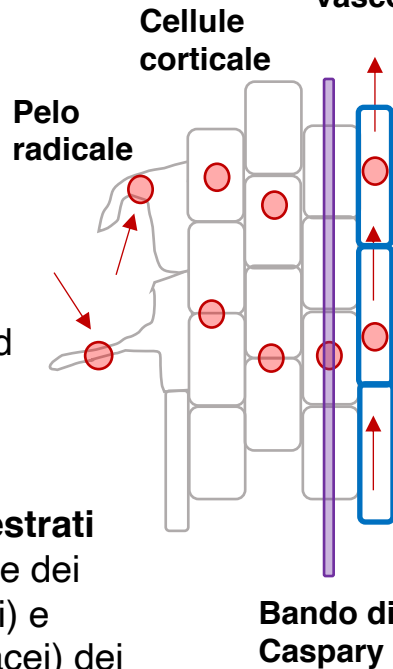


Fitostabilizzazione  
Fitoestrazione

## Il meccanismo:

I contaminanti (metalli pesanti) vengono assorbiti by peli radicali e entrano la xilema con l'aiuto dei canali non-specifici ed i trasportatori di cationi

I metalli pesanti vengono **sequestrati nei vacuoli** nelle cellule corticali dei radici, il legno e corteccia (alberi) e parenchima e collenchima (erbacei) dei fusti, e nel mesofillo e nei tricomi delle foglie



## IL PRINCIPIO:

I composti organici entrano nei tessuti delle piante e vengono convertiti in sostanze meno tossici attraverso un processo catalizzato da enzimi

- Rimangono come metaboliti sequestrati nei vacuoli o legati alle pareti cellulari (Fitostabilizzazione)
- O vengono volatilizzati (Fitovolatilizzazione)

## LE PIANTE DOVREBBERO:

- Avere la capacità per assorbire i contaminanti

**Miglioramento**

(Fitodegradazione,  
fitovolatilizzazione)

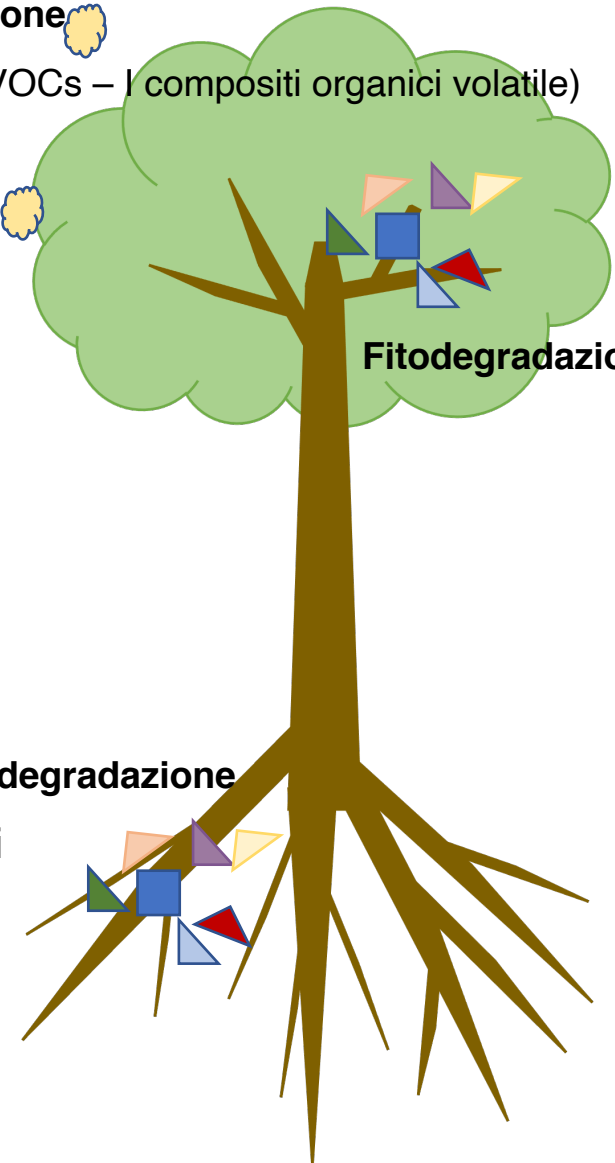
- I prodotti del metabolismo dei composti tossici devono essere in una forma stabile e meno tossica
- I VOCs rilasciati dopo il metabolismo dei composti tossici devono essere meno concentrati e meno tossici

**Fitovolatilizzazione**

(VOCs – I composti organici volatili)

**Fitodegradazione**

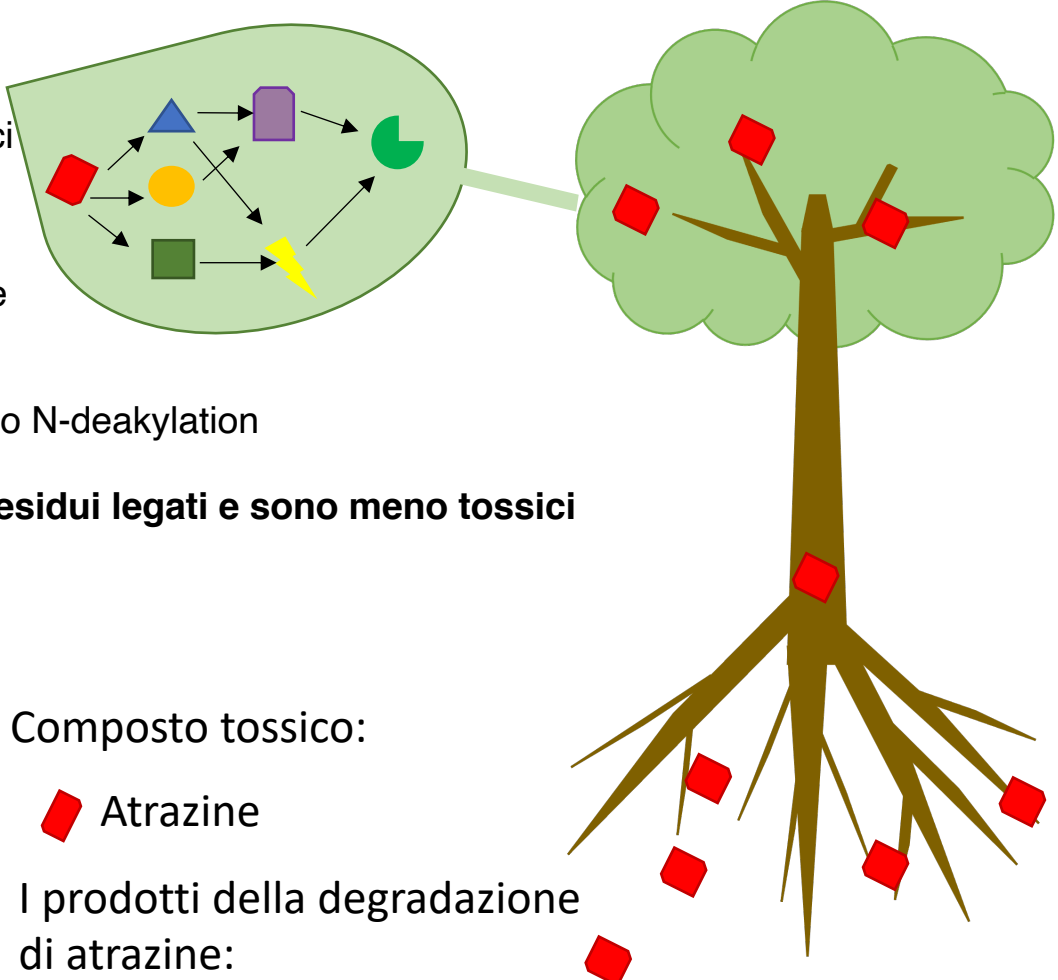
**Rizodegradazione**



Uno studio con il ibrido *Populus deltoides x nigra* (Pioppo) coltivato in una sistema idroponica e in sabbia contaminato con il erbicida **Atrazine** ha mostrato un diminuzione di Atrazine nel substrato e le produzione di diversi metabolite che risultano dal suo degradazione

**Il meccanismo:**

- 1) l'assorbimento del Atrazine dai radici
- 2) L' traslocazione ai fusti e le foglie
- 3) La concentrazione del Atrazine nelle foglie
- 4) Degradazione del Atrazine attraverso N-deakylation
- 5) **I prodotti vengono convertito in residui legati e sono meno tossici**



**Miglioramento**

Esempio:  
degradazione

Composto tossico:

Atrazine

I prodotti della degradazione di atrazine:

- DEA
- HA
- DIA
- DEHA
- DDA
- HDAPs

Pausa  
10 minuti

# Fitoremedio

Usare la fisiologia e la morfologia delle piante per  
ripulire i terreni danneggiati

Il contesto fisiologico

Esempi reali

# Un esempio di Fitoremedio: nel campo 'Vegetal System for Pollution Avoidance' (VESPA) Situato su una base navale a Taranto, Italia



Prima di piantare:  
Maggio 2015



Dopo di piantare:  
Ottobre 2015

**Lo scopo del progetto:** Studiare l'efficacia delle piante a recuperare terra contaminata con le tossine organici e inorganici



**L' impianto: Maggio 2015**



**Ottobre 2015**



Maggio 2015



Giugno 2015



Settembre 2015



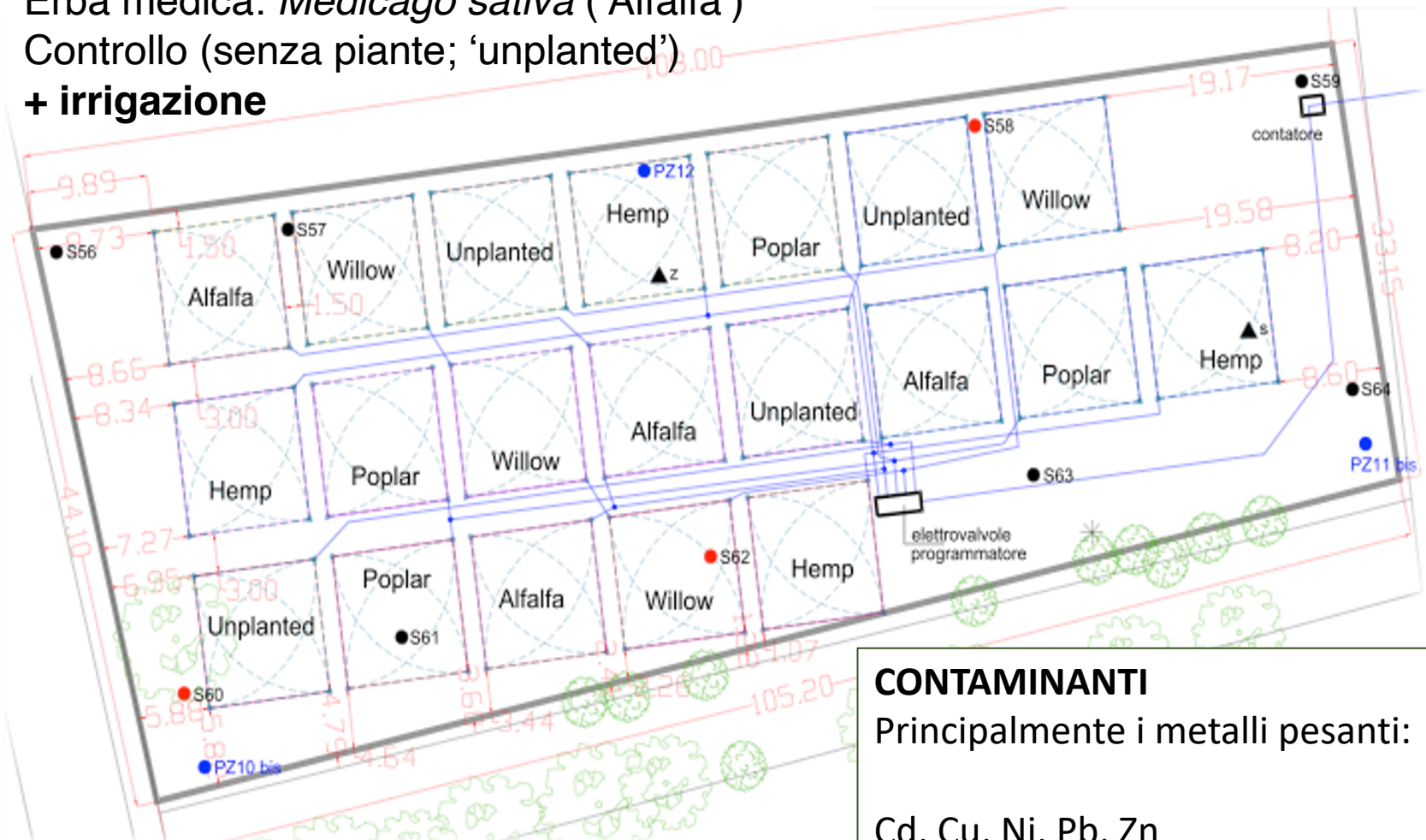
Settembre 2015



Ottobre 2015

# La sistemazione delle zone, con 4 repliche:

- Pioppo: *Populus deltoides x nigra* ('Poplar')
- Salice: *Salix matsudana* ('Willow')
- Canapa: *Cannibus sativa* ('Hemp')
- Erba medica: *Medicago sativa* ('Alfalfa')
- Controllo (senza piante; 'unplanted')
- **+ irrigazione**

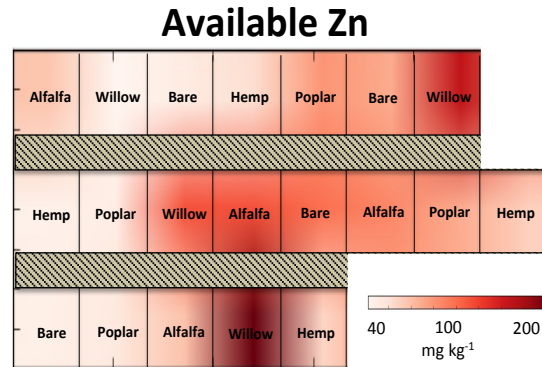
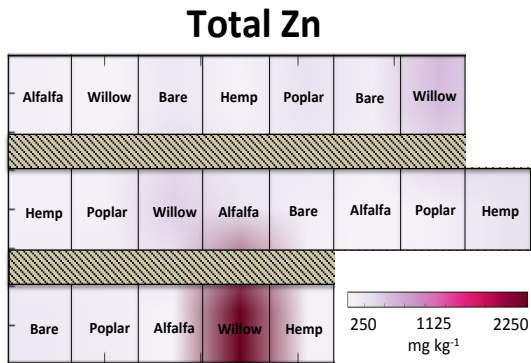
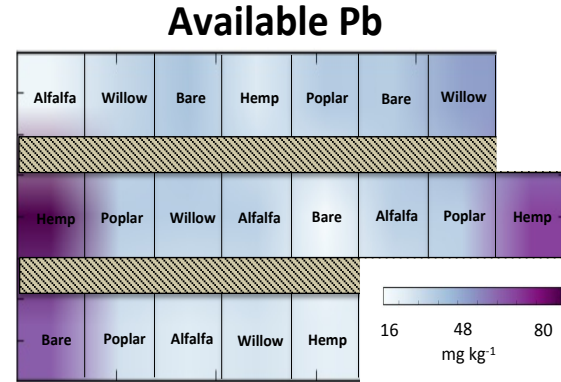
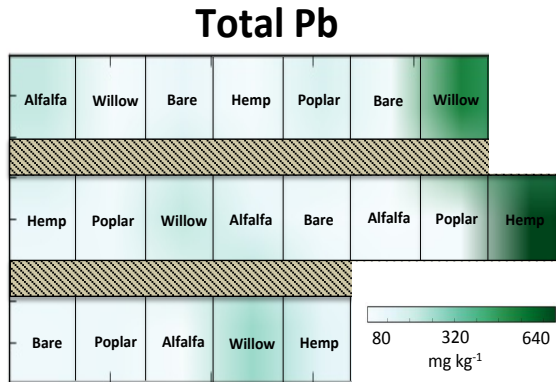
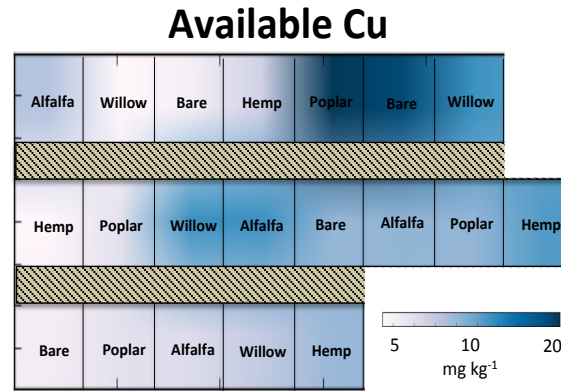
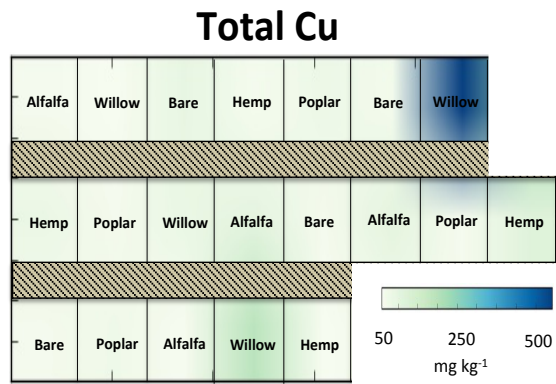


## CONTAMINANTI

Principalmente i metalli pesanti:

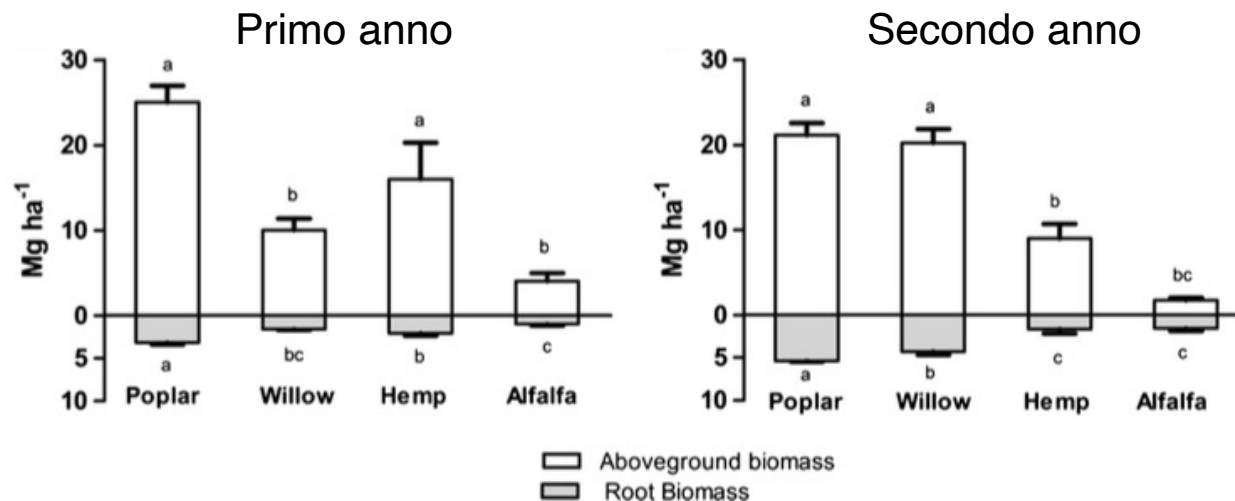
Cd, Cu, Ni, Pb, Zn

# Distribuzione eterogenea dei metalli pesanti nel suolo

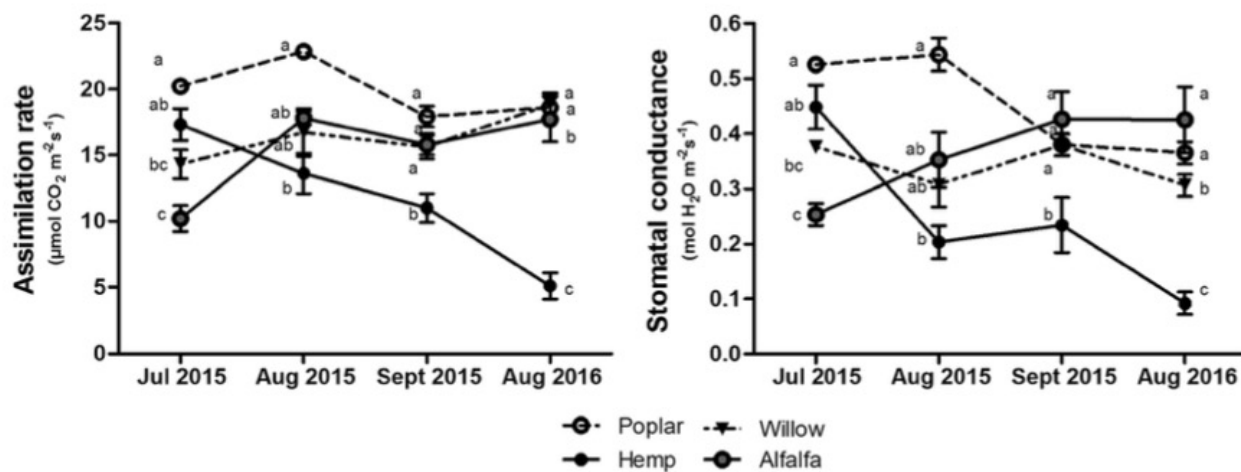


I colori più scuri indicano le concentrazioni più alte

Le crescita ed i tassi dei scambi gassosi indicano variazione fra le piante e loro risposte ai condizioni nel campo



Pioppo e salice sono stati tagliati dopo la prima stagione... e salice ha ripreso meglio nella seconda stagione



Canapa ha avuto un tasso di assimilazione del CO<sub>2</sub> più efficiente – più biomassa con meno CO<sub>2</sub> assimilato.

**Le concentrazioni dei metalli pesanti nelle radici ed i germogli sono stati valutati dopo il primo e secondo 'stagione' (settembre)**

**BCF<sub>s</sub> = [shoot]/[soil]**

**BCF<sub>r</sub> = [root]/[soil]**

**TF = [root]/[shoot]**

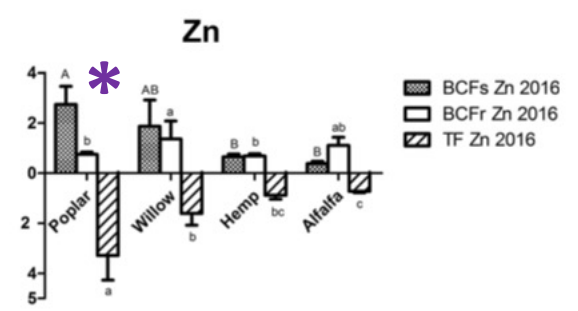
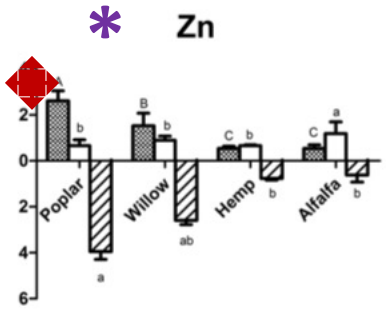
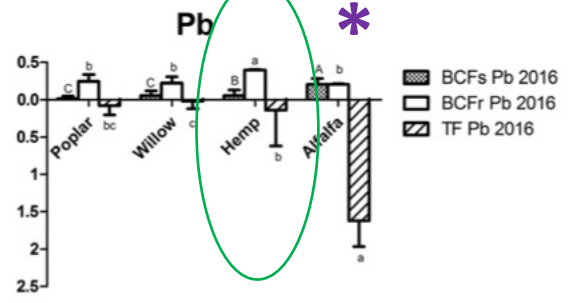
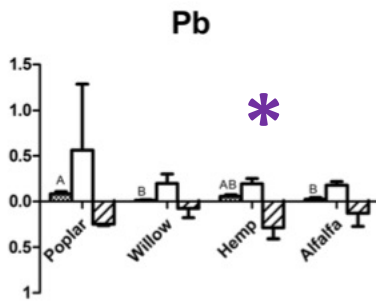
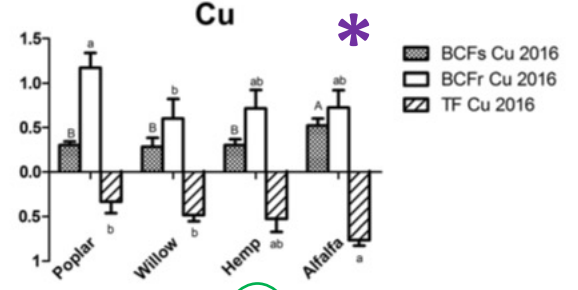
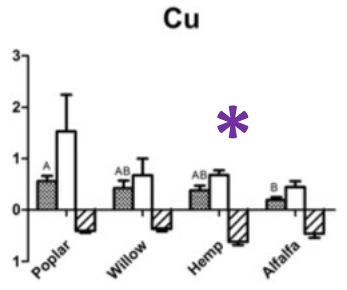
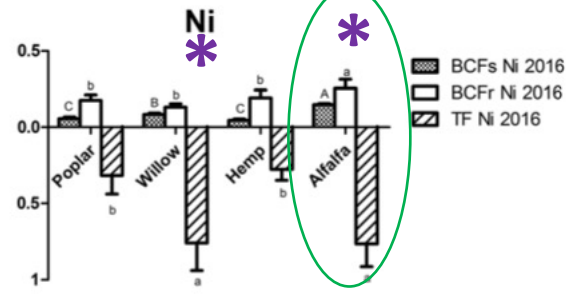
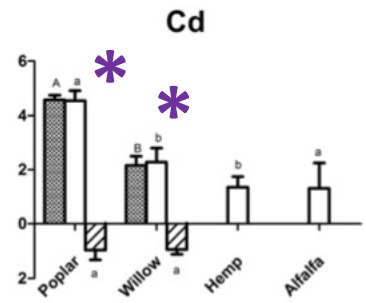
quando c'è un BCF maggiore di 1, significa accumulo in quel tessuto

Pioppo è stato più efficace per la rimozione di Cu e Zn in entrambi i stagioni

Canapa e erba medica sono stati più efficaci nella rimozione di piombo e nichel, rispettivamente

Solo i pioppi hanno avuto un TF >1 per 2 stagioni (Zn)

Non rilevati il primo primo anno

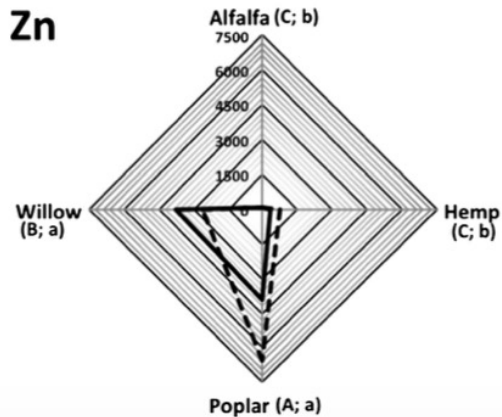
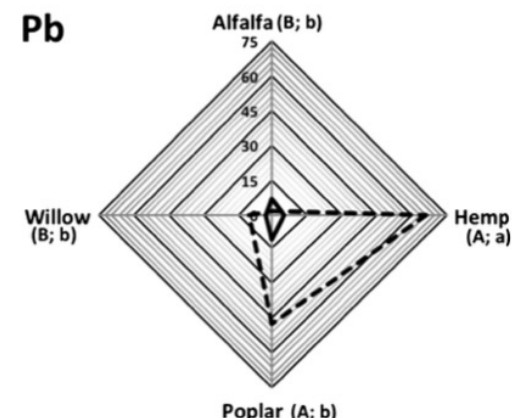
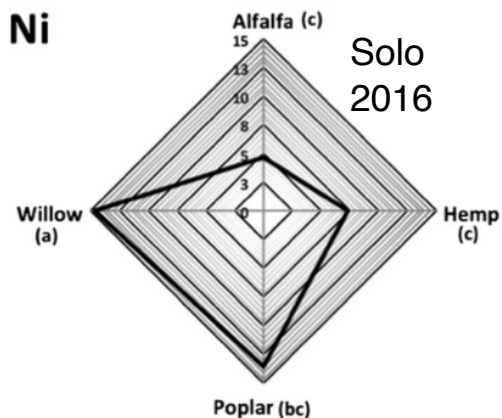
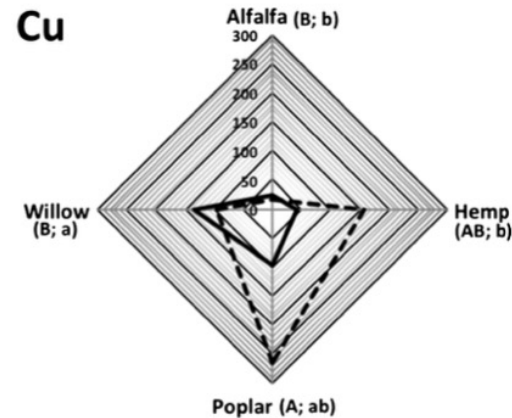
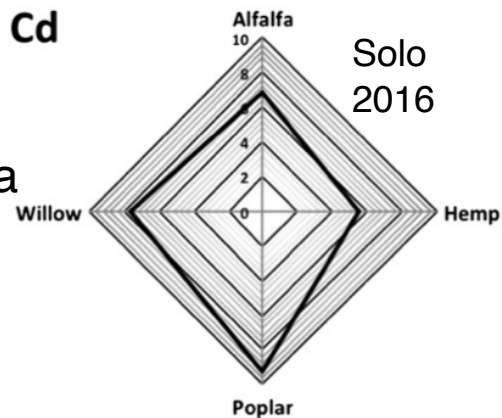


**Il tasso di fitoestrazione è stato valutato come la massa dell'elemento rimossa per il unito del superficie (ettaro): g ettaro<sup>-1</sup>**

--- Primo anno  
 — Secondo anno

Solo nel caso dello zinco è stato lo stesso risultato per entrambi anni:

Pioppo > Salice >  
 Canapa > Erba medica



Dai risultati mostrati qui, è evidente che l'età delle piante, il tasso di germinazione e i condizioni ambientali possono avere un effetto sul tasso di fitoestrazione

# I conclusioni principali

In questo contesto, specificamente, una clima Mediterraneo con irrigazione:

- 1) Pioppo è stato il più efficace nella rimozione dei metalli pesanti generale, soprattutto per zinco, cadmio e rame
- 2) La canapa è stato il più efficace nella rimozione di piombo
- 3) Le piante di Salice sono stati tagliati ('coppiced'), come il Pioppo, al fine della stagione, ma hanno mostrato una ricrescita migliore, e di conseguenza, un aumento nel tasso di fitoestrazione
- 4) Dovremmo prendere sempre in considerazione l'abitudine di crescita delle piante, i condizioni ambientali ed anche i risorse necessari per portare avanti il progetto (irrigazione, semi, potatura, etcetera)
- 5) Qui non era considerata la comunità microbica ma è possibile che ha avuto un effetto sulla risposta delle piante