



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Tecnologie sostenibili per il recupero di ambienti contaminati
attraverso metodiche di bio/fitorimediazione

Dr. Aliosha Malcevschi e Prof. Nelson Marmiroli

Dipartimento di Bioscienze
Università degli Studi di Parma

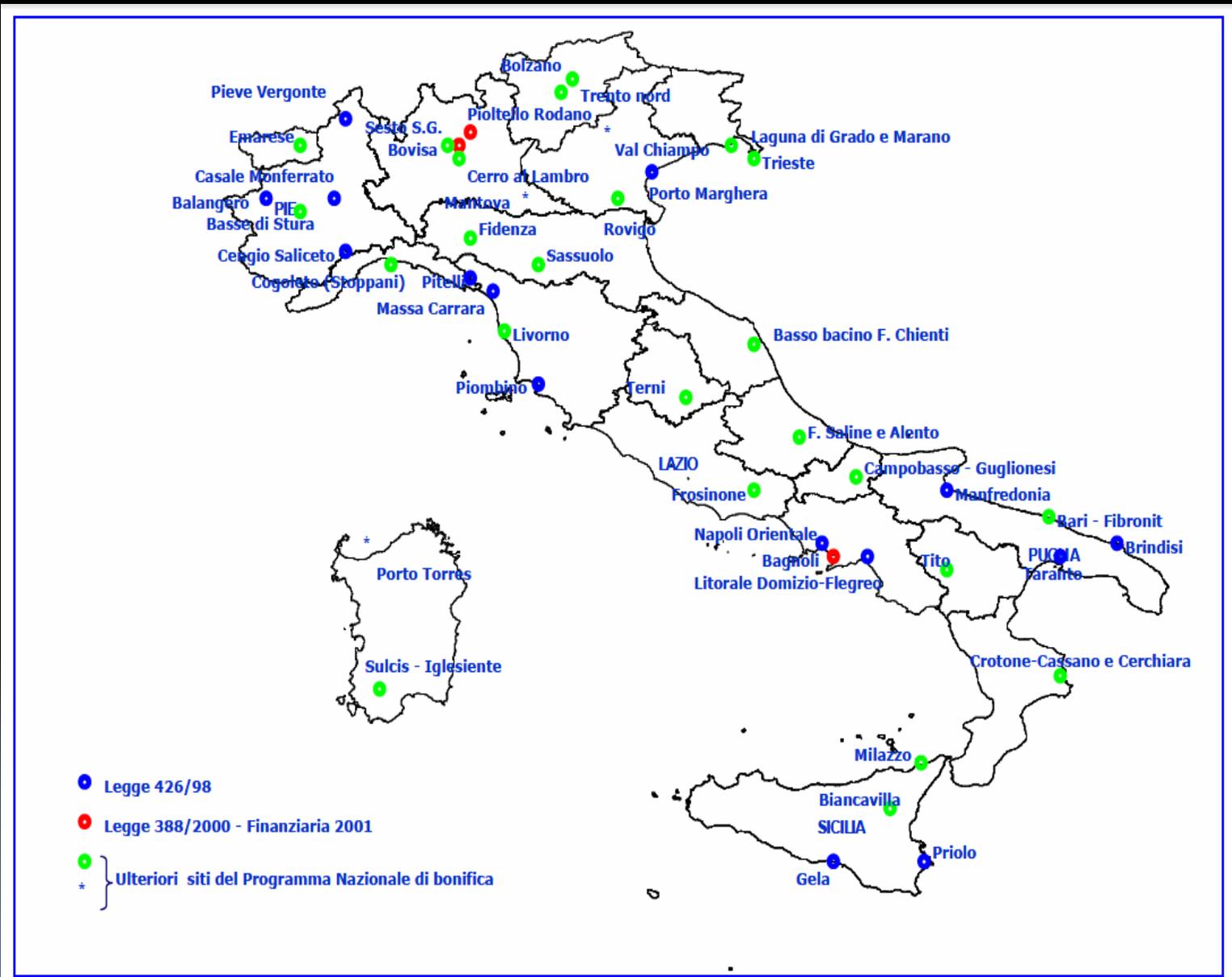
Mantova 18 Aprile 2013

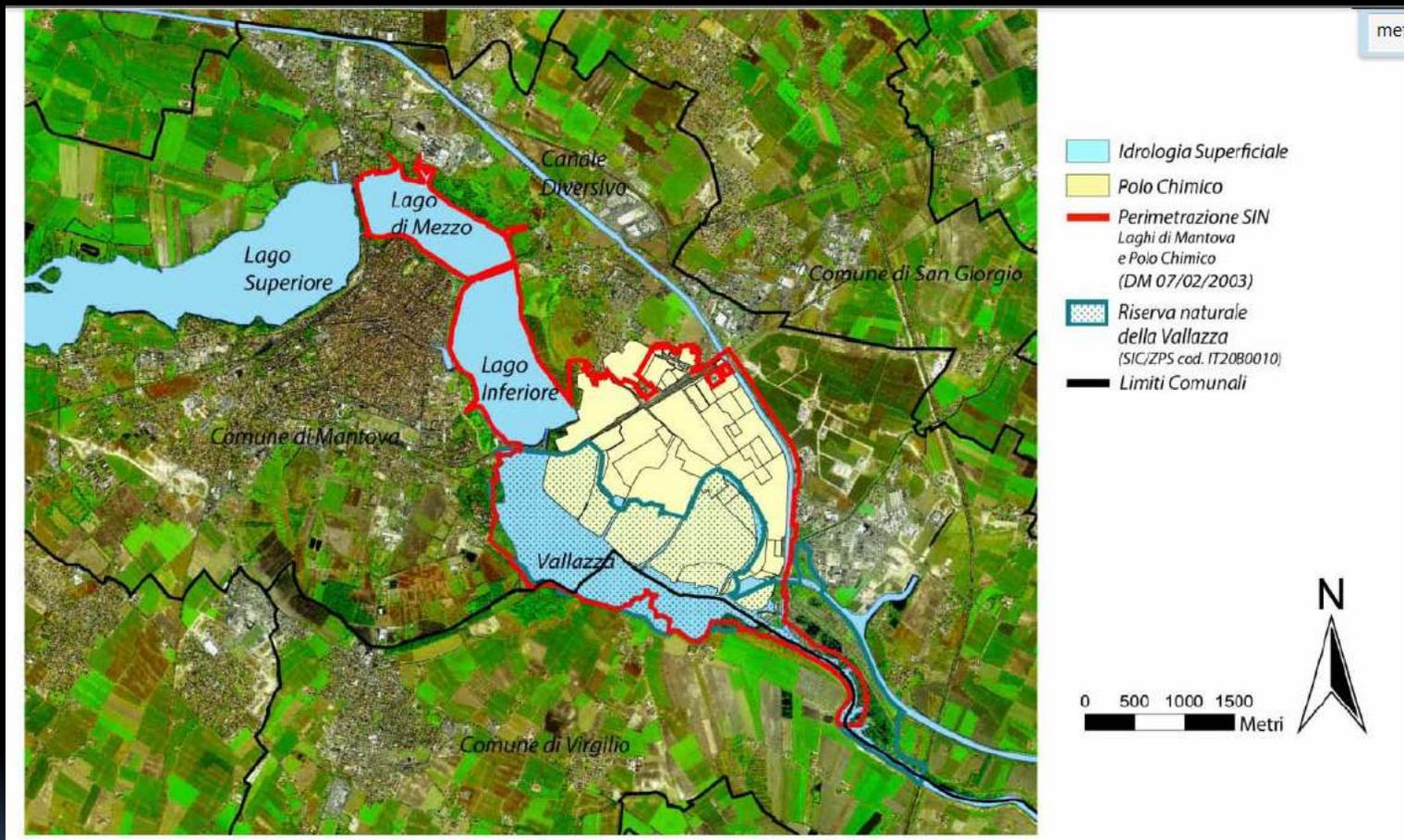
Workshop su «tecniche innovative di bio-fitorimediazione per
La bonifica del sito inquinato dei laghi di Mantova e polo chimico»

Siti contaminati in Italia

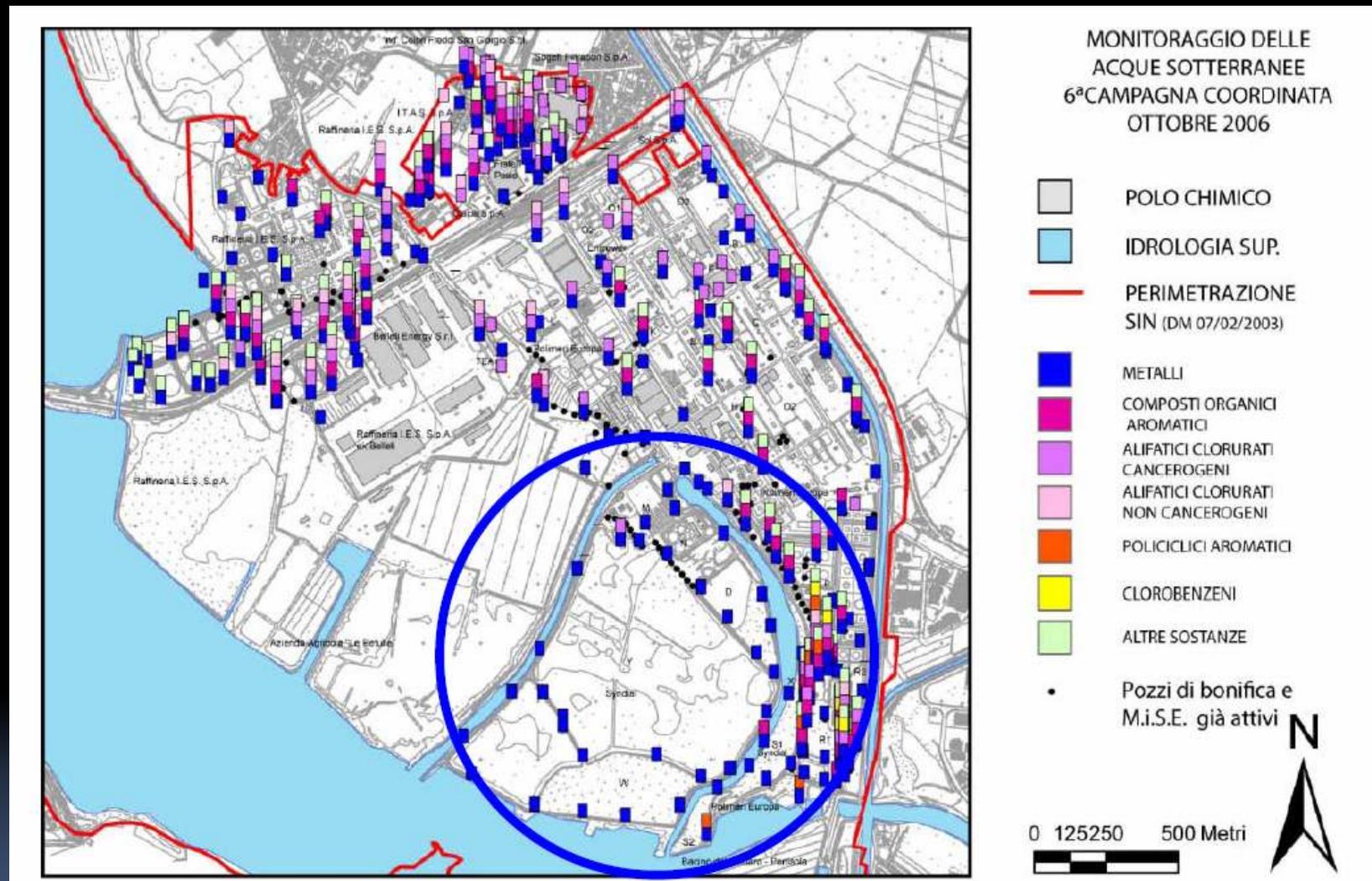
- ❖ Circa 15.000 siti da caratterizzare, bonificare e/o monitorare.
- ❖ Competenza amministrativa regionale o comunale.
- ❖ I siti più importanti direttamente condotti dal Ministero dell'Ambiente nell'ambito del Programma Nazionale delle Bonifiche (L 426/1998 e aggiornamenti)
- ❖ 54 siti di interesse nazionale (SIN)
- ❖ tutti i settori industriali (ampio range di contaminanti)
- ❖ circa 700.000 ha (>2% del territorio)
- ❖ circa 3 MLD € per la bonifica (0.2% PIL nazionale)







Contesto territoriale del Sito di Interesse Nazionale "Laghi di Mantova e Polo Chimico"



Stato di contaminazione: distribuzione spaziale dei superamenti dei limiti di legge (D.Lgs 152/2006) delle principali categorie di inquinanti come rilevato dalla sesta campagna coordinata di monitoraggio delle acque sotterranee. (SOGESID & ICRAM, 2007). Cerchiati in blu i piezometri interni al perimetro del sito.

Idee per la dimostrazione di “bonifiche sostenibili”

Sviluppare metodi di caratterizzazione, fortemente finalizzati alla bonifica

- ❖ tecniche combinate (chimiche, fisiche, geofisiche, botaniche, microbiologiche e di biologia molecolare)
- ❖ modellazione avanzata (eterogeneità degli acquiferi, sorgenti secondarie, interazione tra idrodinamica e comportamento geochimico e chimico).

Sviluppare approcci e tecnologie:

- ❖ “knowledge-intensive”, ovvero basati sullo studio dei fenomeni naturali ed indotti dalle tecnologie nelle condizioni ambientali al contorno. Ove possibile, privilegiare approcci “in situ”
- ❖ “source-oriented”, concentrati nello spazio e ad elevata selettività per la rimozione delle sorgenti (es. DNAPL). Tener conto dell’attenuazione naturale
- ❖ “multitask”, per i casi di contaminazione multipla (anche per interventi on site a fini di riutilizzo risorsa)

Sviluppare metodi di valutazione degli effetti:

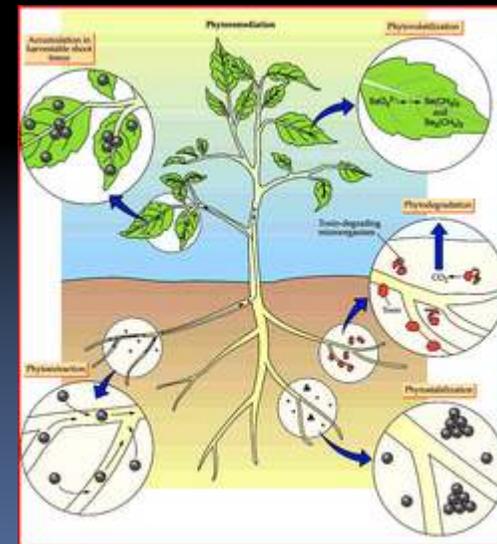
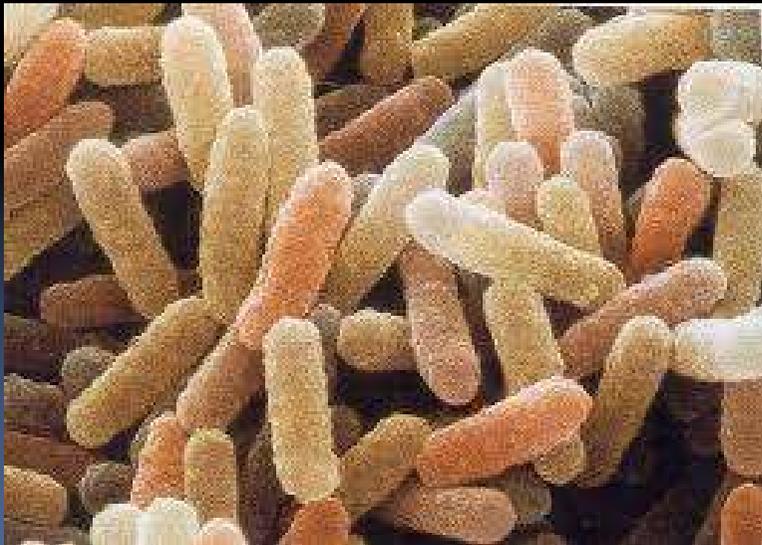
- ❖ modifiche indotte dalle tecnologie sulle matrici ambientali (tessitura e componente organica dei suoli, attività biologica),
- ❖ impatti secondari di tipo tossicologico ed ecotossicologico
- ❖ monitoraggio (es. migrazione di componenti biologiche),

Il ruolo delle tecnologie "soft" nella rigenerazione dei Brownfields:
la visione del progetto europeo **Hombre**
HOlistic Management of Brownfield REgeneration

Il Progetto Europeo **Greenland**: Una soluzione verde per la gestione di suoli e e siti contaminati da metalli pesanti.
Gentle Remediation of trace element contaminated land

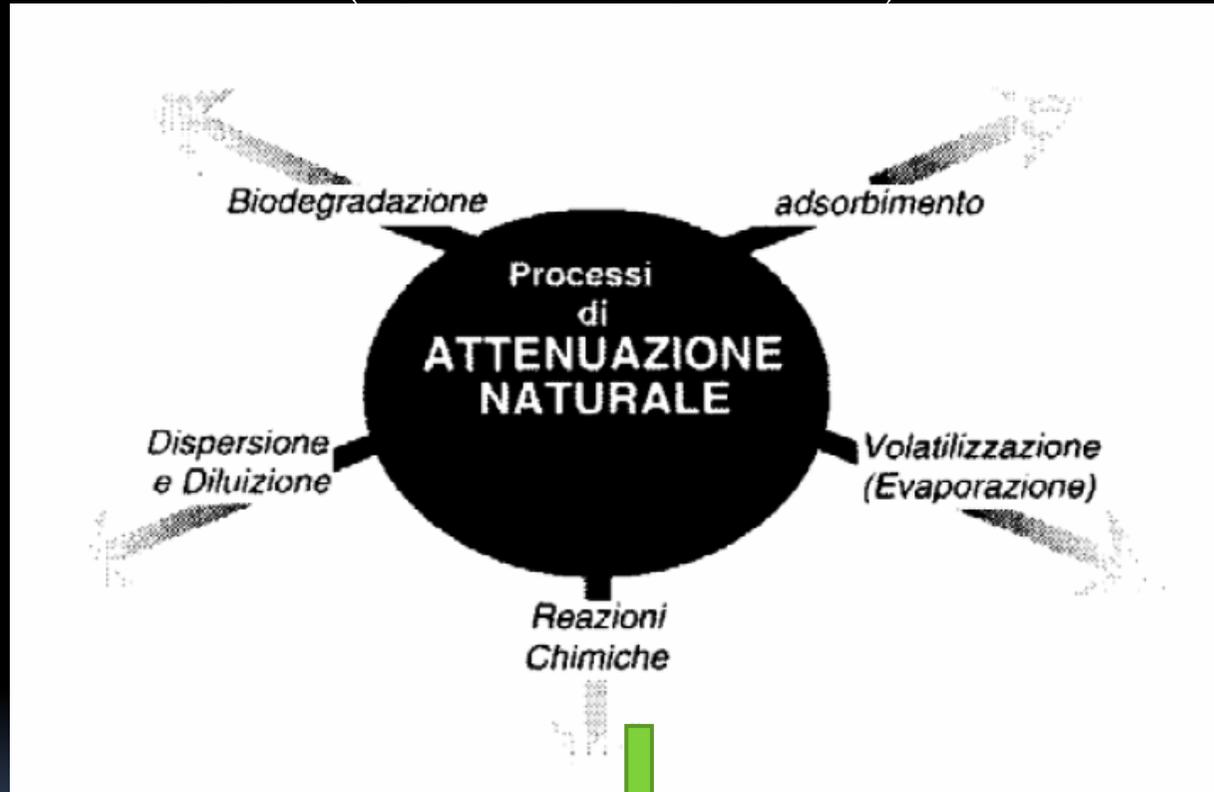
Biorisanamento (bioremediazione/fitorimediazione)

Applicazione dei trattamenti biologici alla bonifica del suolo, sottosuolo e acque sotterranee inquinati basato sull'accelerazione o l'attivazione dell'attività microbica mediante controllo della concentrazione di nutrienti (N, P) e l'aggiunta di altri reagenti per ottenere la mineralizzazione dell'inquinante o la sua trasformazione in composti organici diversi meno nocivi



Attenuazione naturale (rimediazione intrinseca/passiva): capacità dei processi naturali di attenuare le concentrazioni dei contaminanti presenti nelle diverse matrici ambientali coinvolte dalla contaminazione mediante l'azione combinata di fenomeni chimici, fisici e biologici ed in assenza dell'intervento umano.

US-EPA (OSWER-Directive9200:4-17P)



Riduzione della pericolosità

Raggiungimento obiettivi di bonifica in un intervallo di tempo ragionevole

Principali processi di attenuazione naturale

Processo	Descrizione	Tipo
Solubilizzazione	Passaggio del composto da fase libera a fase disciolta	Conservativo
Diluizione	Miscelazione dei contaminanti con l'acqua di falda al di sotto dell'area sorgente	Conservativo
Dispersione	Trasporto dei contaminanti dalle zone a maggiore concentrazione verso quelle a minore concentrazione	Conservativo
Adsorbimento	Processo reversibile di adesione del contaminante sulla matrice solida del mezzo poroso	Conservativo
Volatilizzazione	Processo (reversibile) di passaggio del contaminante dalla fase liquida alla fase vapore	Conservativo (Distruttivo dal punto di vista della falda)
Degradazione	Trasformazione chimica dei contaminanti in composti più semplici	Distruttivo
Biodegradazione	Trasformazione chimica del contaminante in composti più semplici, mediata da organismi biologici	Distruttivo

Attenuazione naturale controllata (MNA Monitored Natural Attenuation)

In che senso l'attenuazione naturale differisce dall'approccio «non fare nulla»?

Talvolta l'attenuazione naturale è associata erroneamente all'approccio «non fare nulla» nel procedimento di bonifica di siti contaminati. La realtà è che l'attenuazione naturale è un procedimento attivo che si concentra sulla verifica ed il monitoraggio di processi naturali di rimediazione piuttosto che sull'uso di processi ingegnerizzati. Prima di poter proporre l'approccio di attenuazione naturale per qualsiasi sito occorre raccogliere una significativa mole di informazioni sulla natura pedologica e della falda del sito contaminato al fine di valutare la fattibilità di tale processo e la sua possibilità di successo. Identificare indizi corretti sulla fattibilità. (velocità migrazione plume, stato redox, prodotti di degradazione, presenza di altri contaminanti organici ed inorganici). Se si decide di procedere lungo tale strada occorre mettere in preventivo un tempo abbastanza lungo per verificare che il movimento dei contaminanti non ponga rischi per la salute umana e l'ambiente e che i processi naturali di riduzione della concentrazione dei contaminanti ed il rischio ambientale ad essi associato siano in qualche modo prevedibili. Tuttavia, questo processo di attenuazione naturale può essere molto lento e imprevedibile. In molti casi, l'uso dell'attenuazione naturale come metodo di risanamento richiede un attento e costante monitoraggio (MNA), che se prolungato nel tempo può risultare anche costoso.

Attenuazione naturale potenziata L'attenuazione naturale accelerata è un approccio che offre un metodo economico e comprovato d'accelerazione dei processi naturali di degradazione dei contaminanti per ottenere il completamento della bonifica del sito. Al fine di aumentare il numero e il benessere dei microrganismi che “eseguono” il biorisanamento, tale approccio prevede l'aggiunta nel sottosuolo di uno o più dei seguenti elementi: ossigeno, idrogeno, nutrienti, microrganismi e piante.

Natural Attenuation/Phytoremediation in the Vadose Zone of a Former Industrial Sludge Basin

Paul E. Olson ¹, John S. Flechter ² and Paul R. Philp ³

Environmental Science and Pollution Research

July 2001, Volume 8, Issue 4, pp 243-249

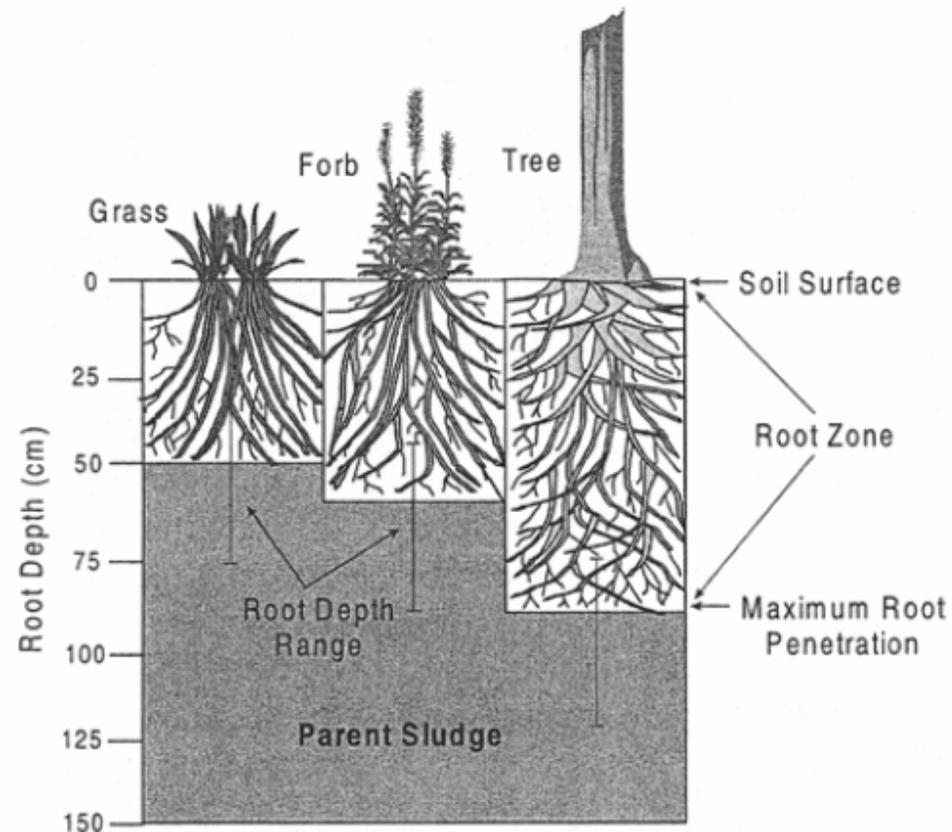
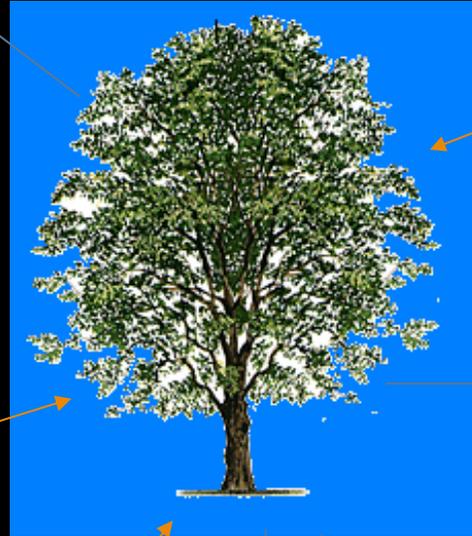


Fig. 2: Average root depth of different types of vegetation growing in the sludge basin in 1998

Fitorisanamento

- ❖ Sfrutta la capacità delle piante di rimuovere, immobilizzare o trasformare composti inorganici ed organici
- ❖ Le specie vegetali possono essere selezionate per la loro capacità di:
 - Estrarre dal suolo e accumulare metalli pesanti nei tessuti
 - Modificare le caratteristiche del suolo o dei metalli riducendo la mobilità degli inquinanti
 - Estrarre dal suolo e decomporre chimicamente selezionati composti
 - Creare nel terreno un ambiente favorevole alla degradazione dei contaminanti con processi biochimici naturali

Le piante possono traspirare sostanze



Le piante possono usare sostanze inquinanti come nutrienti TCE

Le piante incorporano molecole nei loro tessuti (lignificazione)

Le piante possono sopravvivere anche in presenza di alte concentrazioni di sostanze tossiche

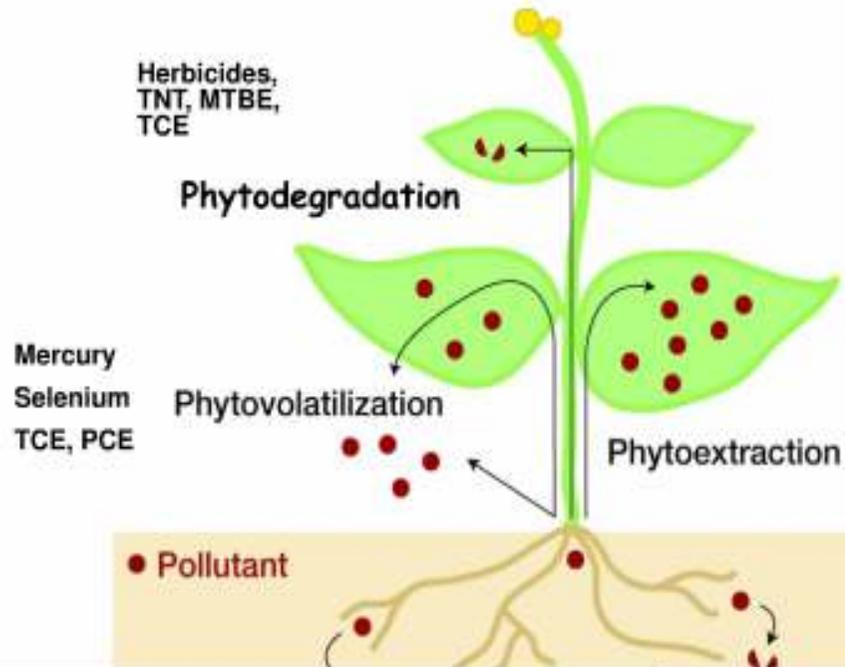
Le piante assorbono metalli

Le radici stabilizzano e legano metalli nel suolo

Le radici rilasciano sostanze naturali che fungono da nutrienti per i microrganismi della rizosfera

Le radici possono crescere anche in acqua

From Pilon-Smits (2005) *Annu Rev Plant Biol* 56: 15-39



Processo	Meccanismo depurativo	Applicabilità	Contaminanti
Fitodegradazione	Distruzione contaminanti	Terreni Sedimenti Fanghi Acque sotterranee Acque superficiali	Composti organici Solventi clorurati Fenoli Erbicidi Esplosivi
Fitoestrazione	Estrazione e concentrazione contaminanti	Terreni Sedimenti Fanghi	Metalli (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) Semimetalli (As, Se) Non metalli (B) Radionuclidi (Sr, Cs, Pu, U)
Fitostabilizzazione	Immobilizzazione contaminanti	Terreni Sedimenti Fanghi	Metalli (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn)
Fitovolatilizzazione	Estrazione e volatilizzazione contaminanti	Terreni Sedimenti Fanghi Acque sotterranee	Solventi clorurati Composti inorganici (Se, Hg, As)
Rizodegradazione	Distruzione contaminanti	Terreni Sedimenti Fanghi Acque sotterranee	Composti organici Solventi clorurati Pesticidi
Rizofiltrazione	Estrazione e concentrazione contaminanti	Acque sotterranee Acque superficiali	Metalli Radionuclidi

<i>Meccanismo</i>	<i>Contaminanti</i>	<i>Matrice ambientale</i>	<i>Coltura</i>	<i>Stato</i>
Degradazione	Atrazina, nitrati	Acqua superficiale	Pioppo	Applicato
Degradazione	Percolato	Falda	Pioppo	Applicato
Degradazione	TCE (tricloroetilene)	Falda	Pioppo, cassinia leptophilla	Prove di campo
Degradazione	TNT (tritololo)	Palude	Diverse	Prove di campo
Degradazione	TPH	Suolo	Erba da pascolo	Prove di campo
Estrazione-concentrazione nei germogli	Piombo	Suolo	Senape indiana	Prove di campo
Estrazione-concentrazione nelle radici	Uranio	Acqua superficiale	Girasole	Prove di campo
Estrazione, volatilizzazione	Selenio	Suolo e acqua superficiale	Diverse	Applicato

Tabella 8 – Esempi di specie vegetali utilizzabili in interventi di phytoremediation

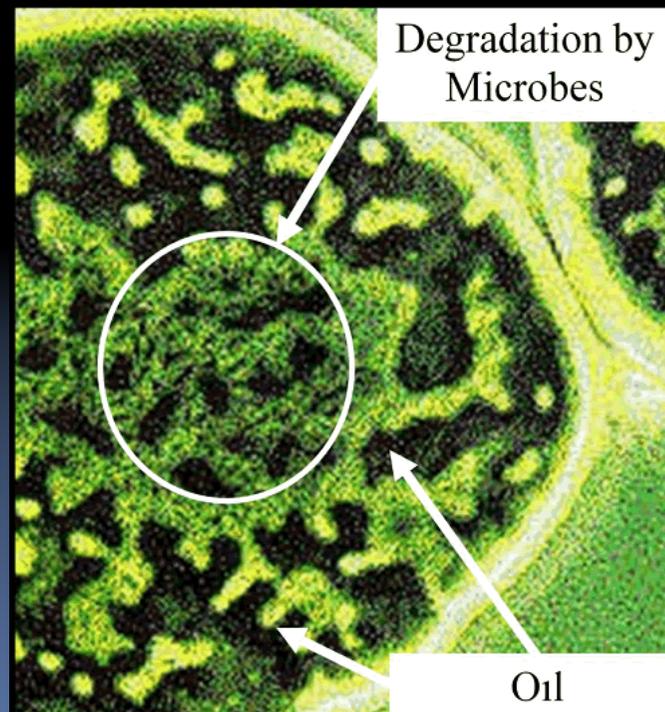
Si conoscono circa 350 specie vegetali in grado di assorbire naturalmente sostanze tossiche

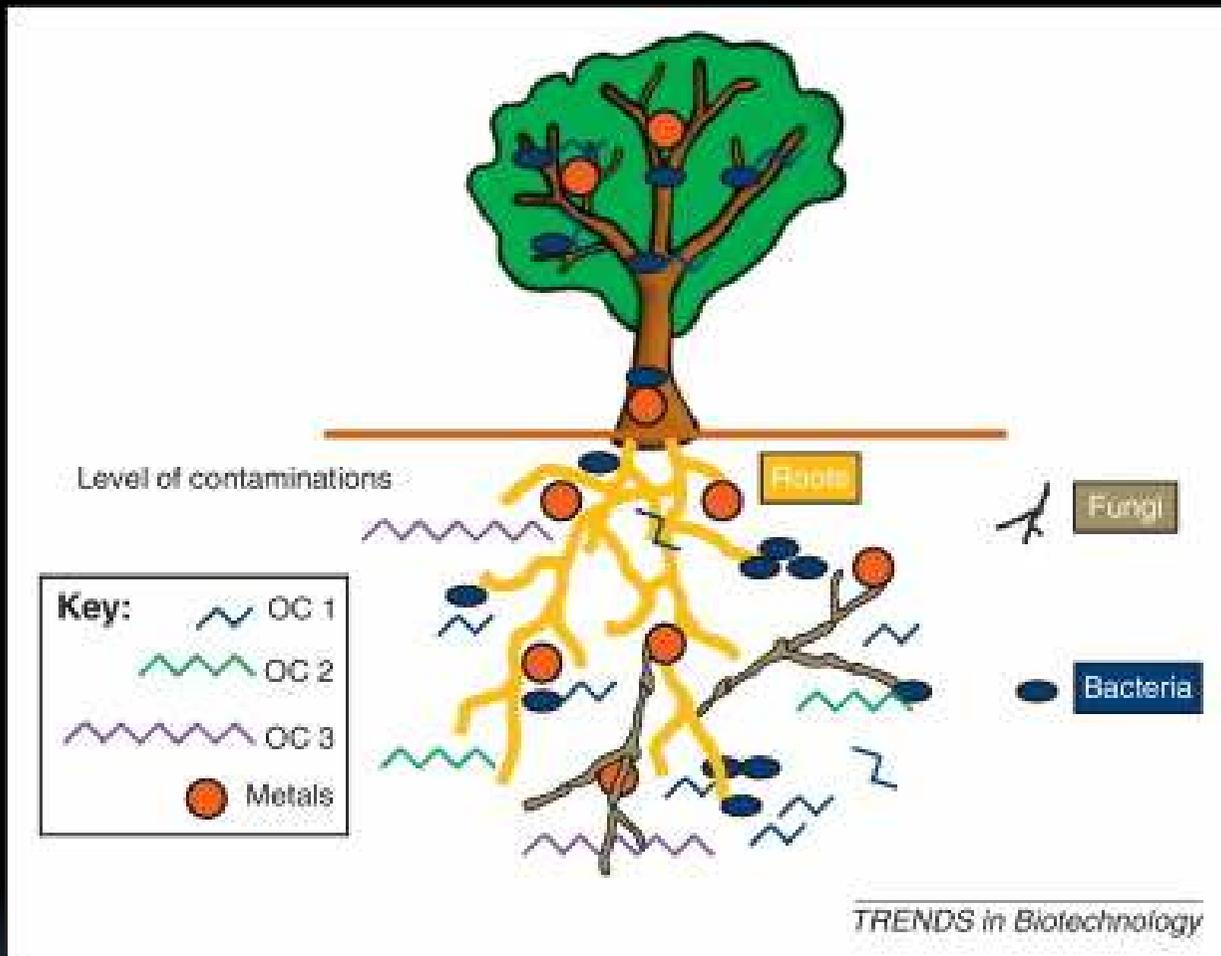
Piante di girasole sono state usate per rimuovere Cs e Sr da Chernobil, il giacinto d'acqua è stato usato per rimuovere AS da cisterne d'acqua in Bangladesh e India.

- Typha
- Juncus
- Carex
- Phragmites
- Nymphaea
- Nuphar
- Zostera
- Potamogeton
- Lemna
- Populus



Spesso l'attenuazione naturale non è abbastanza veloce, completa o possibile per essere usata come prima opzione (specie per il trattamento di inquinanti cloro organici). Una possibilità è quella di accoppiarla con processi di biorimediazione e bioaugmentazione. “Attenuazione naturale potenziata da microrganismi”





Piante “Designer” (salicacee facili da incrociare) vivono in simbiosi con funghi dell’apparato radicale in grado di degradare contaminanti organici (OC). Batteri della rizosfera poi degradano ulteriormente alcuni di questi OC mentre altri sono assorbiti dai tessuti vegetali. Infine batteri endofitici degradano i rimanenti OC stimolando la crescita vegetale che può essere usata come biomassa per produrre energia.. Sottoprodotti di questi processi di conversione energetica (biochar) possono poi essere ulteriormente usati come ammendanti e per il sequestro del C.

Plant–microbe interactions: novel applications for exploitation in multipurpose remediation technologies

[P.C. Abhilash¹](#), [Jeff R. Powell²](#), [Harikesh B. Singh³](#), [Brajesh K. Singh²](#)

["Trends in Biotechnology" src="http://origin-ars.els-cdn.com/content/image/B0167799.gif">](#)

[Volume 30, Issue 8](#), August 2012, Pages 416–420

Vantaggi della fitodepurazione

- E' un'alternativa alla depurazione convenzionale, che rispetta l'ambiente e può essere economicamente vantaggiosa
- La manutenzione può essere molto ridotta e non richiede personale specializzato
- Si creano aree verdi di gradevole aspetto
- Offre la possibilità di riutilizzare l'acqua o altri materiali

- Nella formazione delle zone umide artificiali (constructed wetlands) sono coinvolti tutti i principali meccanismi di fitorimediazione: le piante possono volatilizzare i contaminanti attraverso la traspirazione, accumularli o degradarli nei loro tessuti o stimolare la degradazione microbica.
- Possono essere usate per il trattamento di metalli, idrocarburi, pesticidi.
- In Italia il D.Lgs. 152/99 incoraggia l'applicazione della fitorimediazione per il trattamento di effluenti in aree che non sono connesse con impianti convenzionali di trattamento delle acque contaminate.
- Esistono due grandi categorie di wetland, a somiglianza dei sistemi naturali
 - A flusso superficiale
 - A flusso subsuperficiale (orizzontale o verticale)
- Le wetland a flusso superficiale ricreano i valori dell'habitat naturale e migliorano la qualità dell'acqua
- Le wetland a flusso subsuperficiale offrono come unico beneficio quello del recupero della qualità dell'acqua

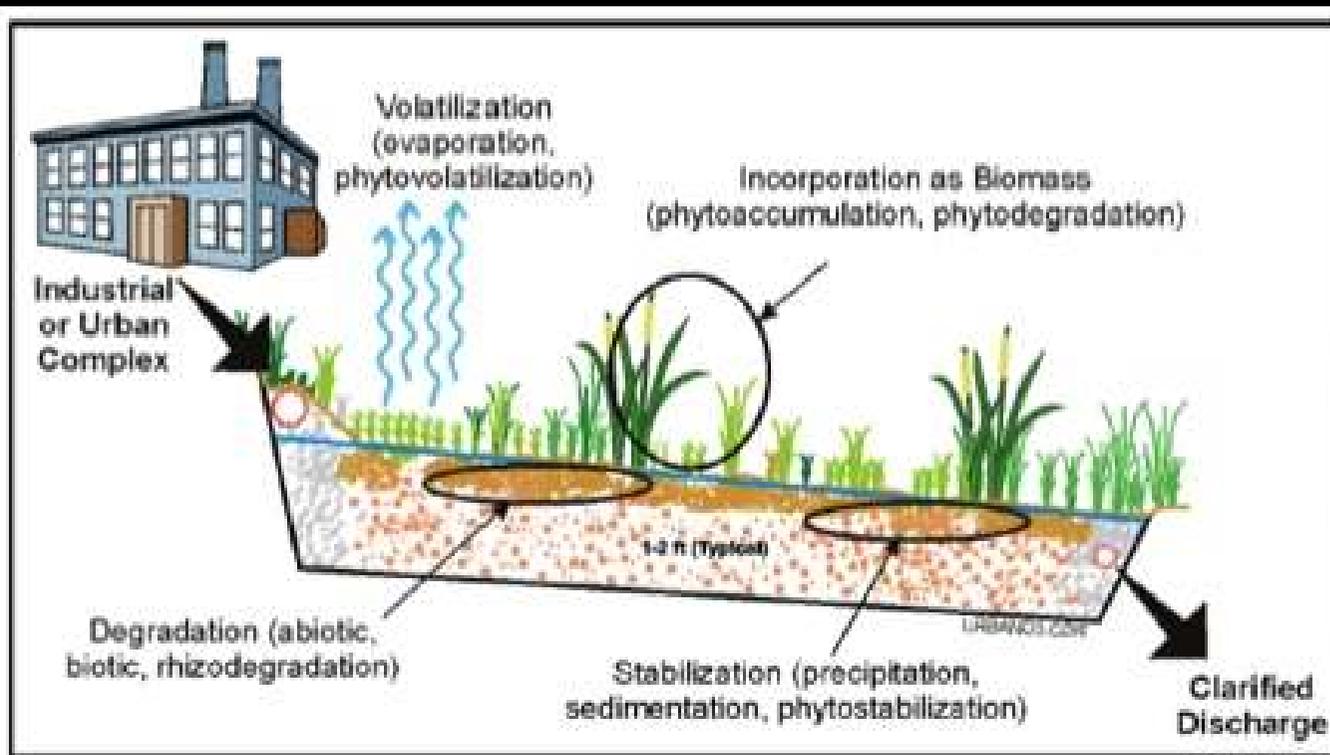
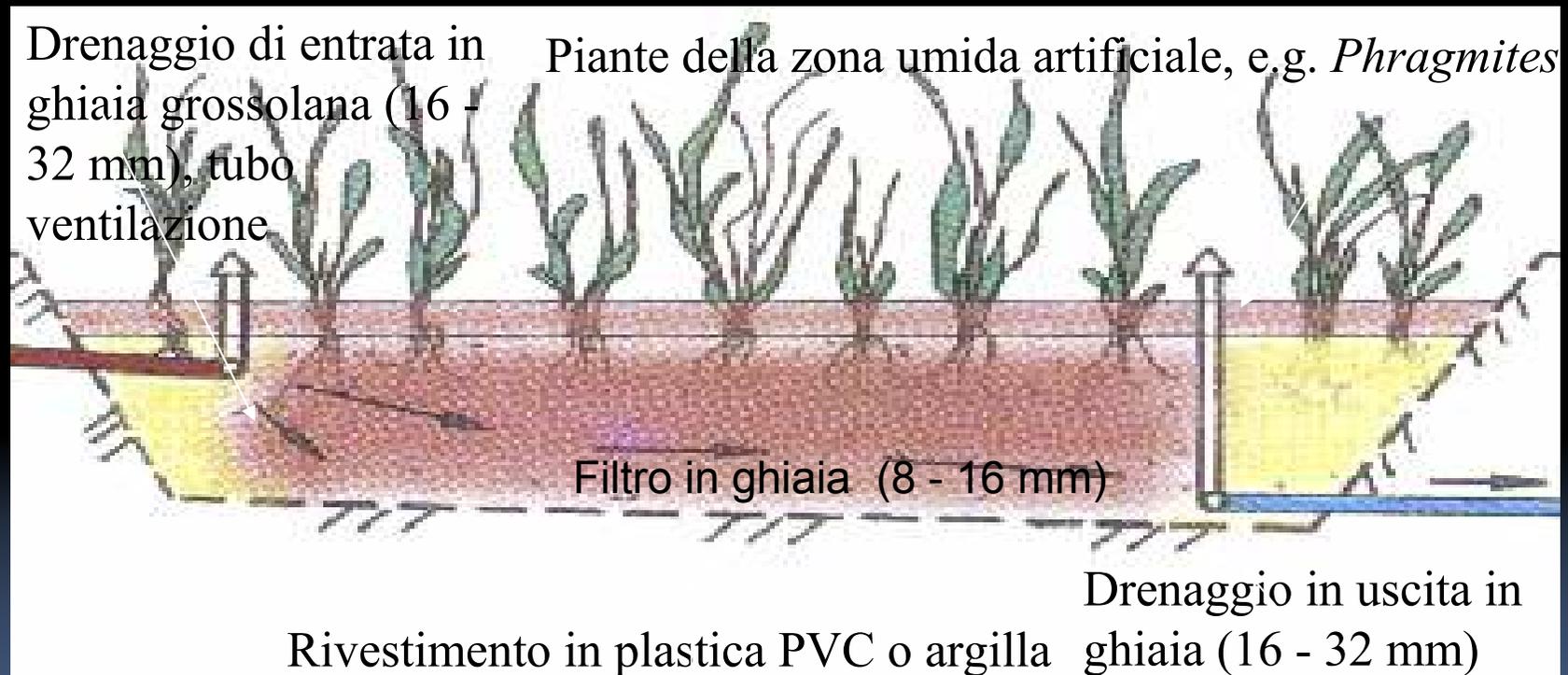


Figure 1-9 Treatment Wetland

Principio di funzionamento di una zona umida artificiale orizzontale



I processi biotici ed abiotici attivi nelle wetlands hanno luogo in acqua, nei sedimenti e a livello radicale. La diversità microbica ed i processi di simbiosi tra piante e microrganismi sono fattori importanti.

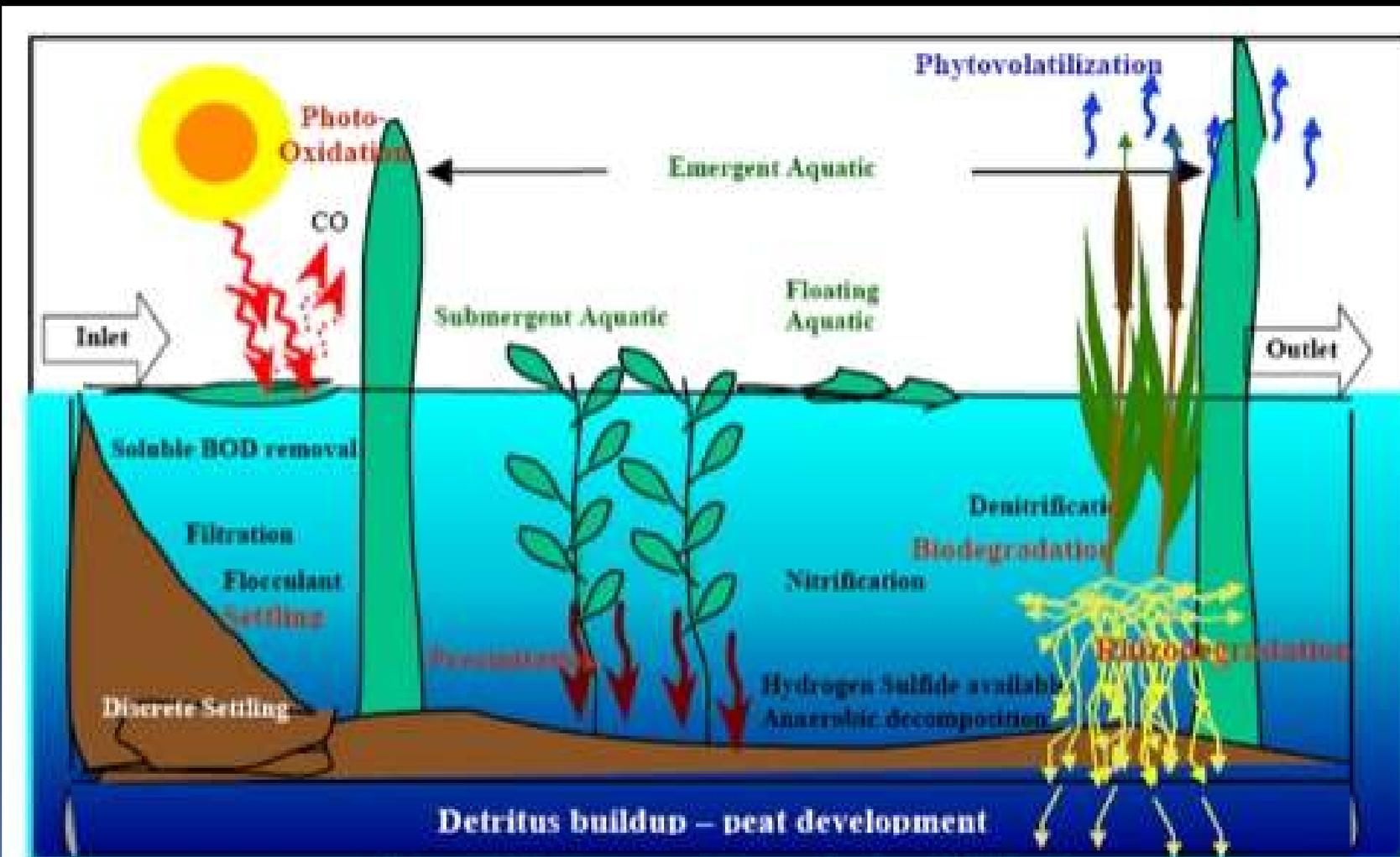


Figure 2-1. Processes Occurring in a Wetland

Tipologie di contaminanti che possono essere trattate nelle wetland.

BOD (microrganismi, piante, ossidazione)

Solidi sospesi (sedimentazione, filtrazione)

Azoto (microrganismi, piante)

Fosforo (adsorbimento, piante)

Metalli pesanti (adsorbimento, piante)

Microrganismi patogeni (stress)

Composti organici recalcitranti (microrganismi, piante)



Tosto che l'acqua a correr mette co
non più Benaco, ma Mencio si chiama
fino a Governo, dove cade in Po.
Non molto ha corso, ch'el trova lama
ne la qual si distende e la impaluda:
e suol di estate talor esser grama.
(*Dante, Inferno XX 76 - 81*)