

ZANICHELLI

Fabio Fanti

Biologia, microbiologia e tecnologie di controllo ambientale

I bioindicatori

Il suolo e

il trattamento degli

inquinanti

Bioindicatori della qualità delle acque

I **bioindicatori** sono organismi che indicano, con la loro presenza più o meno abbondante, con la loro assenza o con cambiamenti nella loro struttura, fisiologia o comportamento, alterazioni dell'ambiente in cui vivono.

Per essere un buon indicatore un organismo acquatico deve possedere le seguenti caratteristiche:

- facilmente identificabile
- avere ristretti intervalli di tollerabilità
- essere ampiamente distribuito
- possedere una limitata mobilità e un ciclo vitale sufficientemente lungo

Sistema delle saprobie per il biomonitoraggio /1

I **saprobi** sono organismi che vivono in ambienti ricchi di sostanza organica in decomposizione. Sono considerati indicatori di saprobietà, cioè **indicatori del livello di inquinamento organico** dei corpi idrici, in particolare dei fiumi.

I fattori che legano gli organismi saprobi a un certo grado di inquinamento sono:

- la **disponibilità di nutrienti**
- la **presenza di ossigeno**
- la **presenza di sostanze tossiche**

Sistema delle saprobie per il biomonitoraggio /2

Le acque saprobie sono classificate in **4 classi di qualità**, individuate da specifici microrganismi o associazioni microbiche. Ad ognuna corrisponde un **livello trofico delle acque**, in base alla presenza più o meno abbondante di nutrimento.

- **CLASSE I: zona oligosaprobia** - acque pure o poco inquinate → livello **oligotrofico** (povero di nutrienti)
- **CLASSE II: zona β -mesosaprobia** – acque mediamente inquinate → livello **eutrofico** (ricco di nutrienti)
- **CLASSE III: zona α -mesosaprobia** – acque molto inquinate → livello **eutrofico** (ricco di nutrienti)
- **CLASSE IV: zona polisaprobia** – acque estremamente inquinate → livello **politrofico** (molto ricco di nutrienti)

Sistema delle diatomee per il biomonitoraggio /1

Le **diatomee** in base all'habitat si distinguono in:

- **Bentoniche:** adese al substrato, fino a dove arriva la luce
- **Planctoniche:** nel plancton marino o lacustre

Possiedono una teca silicea che alla fine del loro ciclo vitale si deposita sul fondo formando la farina fossile.

Nel biomonitoraggio dei corsi d'acqua sono coinvolte soprattutto le diatomee bentoniche, **ottimi bioindicatori** poiché:

- si trovano in tutti i corsi d'acqua
- sono estremamente sensibili alle variazioni chimico-fisiche
- sono di facile campionamento e riconoscimento
- sono in grado di ricostituire le loro popolazioni nel giro di qualche settimana una volta cessato lo stress ambientale

Sistema delle diatomee per il biomonitoraggio /2

Fattori che condizionano le comunità di diatomee:

- Velocità della corrente
- Temperatura
- pH
- Ossigeno disciolto
- Concentrazione di sostanza organica
- Contenuto di nutrienti (nitrati e fosfati)
- Variazioni di salinità

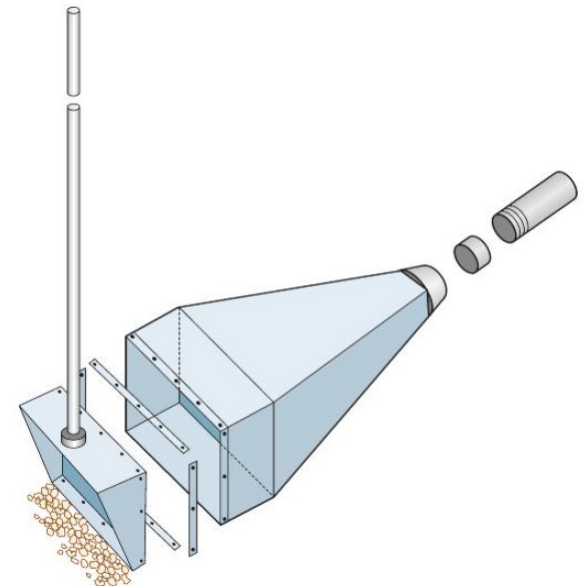
L'Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione o EPI-D si basa sulla sensibilità (affinità/tolleranza) delle diatomee ai nutrienti, alla sostanza organica e al grado di mineralizzazione del corpo idrico

Indicatori biotici delle acque: i macroinvertebrati

I **macroinvertebrati** sono organismi **bentonici**, in particolare piccoli molluschi e crostacei, vermi piatti, anellidi, larve o adulti di insetti, con dimensioni che variano da 1 a pochi millimetri (visibili a occhio nudo).

Sono ottimi bioindicatori perché sono forme **stanziali**: sono sensibili alle condizioni del tratto del corso d'acqua in cui si trovano.

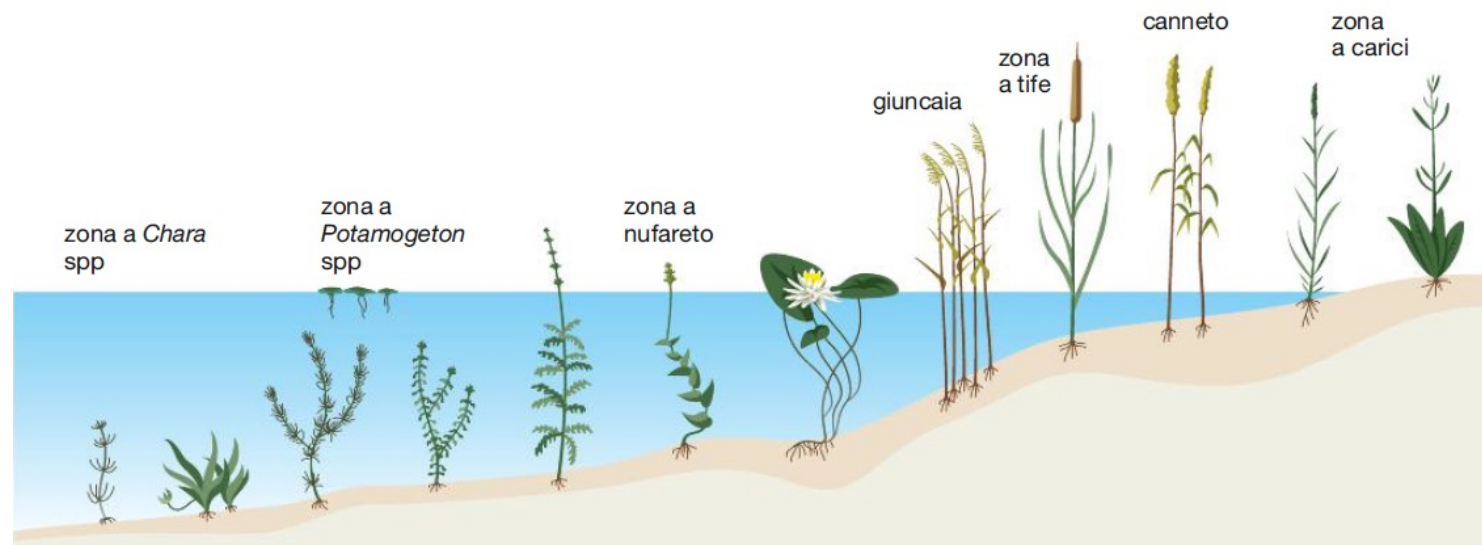
Il **metodo IBE** utilizza un parametro individuato in base alla distribuzione delle varie specie di macroinvertebrati nel tratto di corso d'acqua in esame



Retino per la raccolta di macroinvertebrati

Le macrofite acquatiche per la valutazione delle acque

Le **macrofite acquatiche** comprendono diverse specie vegetali adese al substrato, macroscopicamente visibili negli ambienti acquatici, sia nell'acqua che nelle immediate vicinanze di acque dolci superficiali. Sono **produttori primari** (fanno la fotosintesi) e specie pioniere sia nel letto del fiume che di greto.



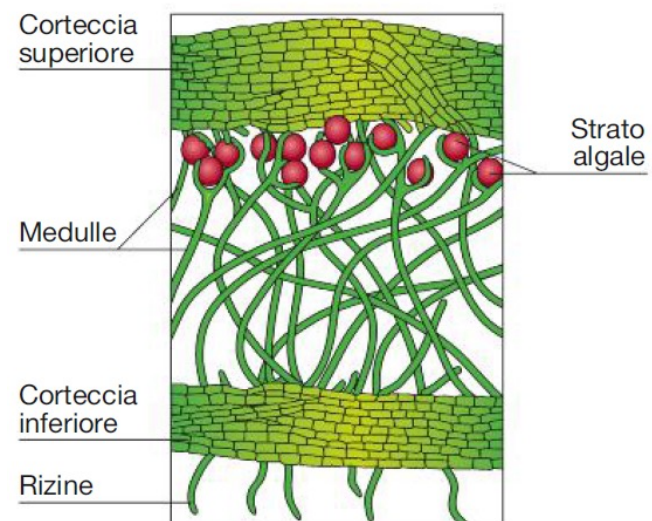
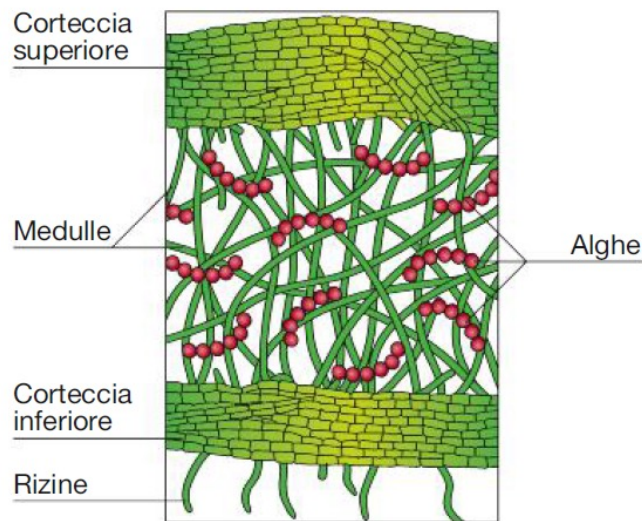
Zonazione delle macrofite

Indicatori biotici della qualità dell'aria: i licheni /1

I **licheni** sono un'**associazione simbiotica** tra:

- un **fungo**, tipicamente ascomicete
- un'**alga**, che svolge attività fotosintetica

Il tallo può essere un **omeomero** (fitto intreccio di ife) o **eteromero** (stratificazione verticale evidente).



Indicatori biotici della qualità dell'aria: i licheni /2

I licheni sono validi indicatori dello **stato di inquinamento dell'aria** per:

- elevata sensibilità agli agenti inquinanti
- vasta distribuzione nel territorio
- organismi stanziali
- sviluppo molto lento
- proprietà di accumulare sostanze inquinanti

L' **Indice di Purezza Atmosferica** o **IAP** (*Index of Atmospheric Purity*) esprime un indice della purezza dell'aria in base al numero, alla frequenza e alla tolleranza dei licheni epifiti presenti nell'ambiente in esame.

Indicatori biotici della qualità dell'aria: i licheni /3

I licheni possono essere usati come **bioaccumulatori**, per condurre studi di biomonitoraggio ambientale attraverso l'individuazione degli inquinanti e la loro concentrazione. Possono essere ricercati elementi chimici quali fluoro, zolfo, idrocarburi clorurati, residui di metalli pesanti e radionuclidi.



Parmelina tiliacea



Xanthoria parietina



Pseudovernia furfuracea

Le api come bioindicatori di contaminazione ambientale

L'impiego di *Apis mellifera* come bioindicatore può fornire informazioni riguardo alle contaminazioni da **pesticidi**, da **metalli pesanti** e da **radionuclidi**, desumibili da un'elevata percentuale di mortalità o dai residui di questi elementi rintracciabili con analisi strumentali nei tessuti delle api.

- È facile allevlarla
- Ha un corpo peloso, che intrappola e trasporta le sostanze con cui l'ape viene a contatto
- Ha un'ampia mobilità e compie numerosi prelievi quotidianamente
- Ha un alto tasso di riproduzione



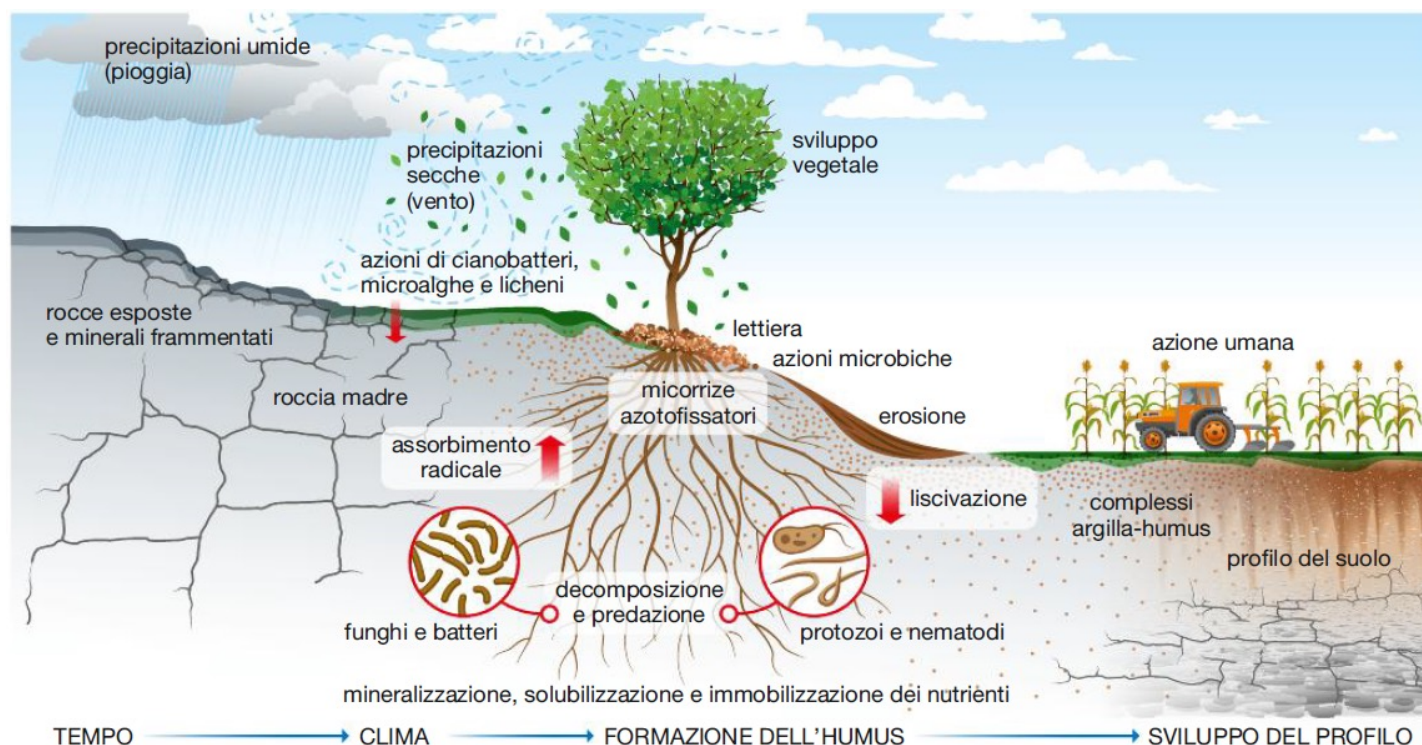
Biosensori per il monitoraggio ambientale

I **biosensori** sono sistemi di monitoraggio che integrano una componente biologica e una elettronica che funziona come trasduttore di segnale:

- la **componente biologica** subisce modificazioni biochimiche o fisiche introdotte dalla sua interazione con il campione in esame
- il **trasduttore elettronico** capta tali modificazioni e le trasforma in un segnale elettrico che può essere amplificato, elaborato, letto e interpretato

Pedogenesi e composizione del suolo /1

Pedogenesi: formazione del suolo, risultante da fenomeni fisici e meccanici, reazioni chimiche operate da ossigeno, acqua e anidride carbonica e trasformazioni biologiche.

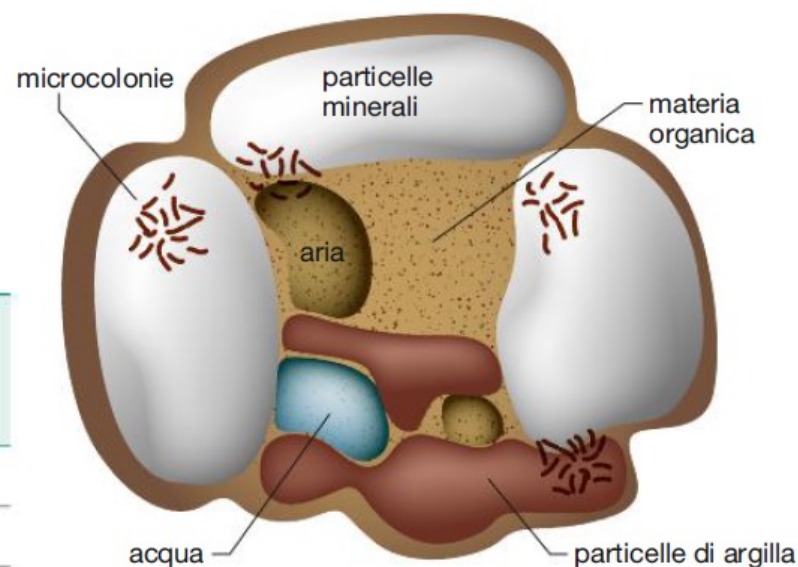


Pedogenesi e composizione del suolo /2

Il suolo è composto principalmente da particelle di **minerali di silicato**, a cui si aggiungono composti del **ferro** e dell'**alluminio** e altri elementi in percentuale minore

Componenti del suolo	Diametro Particelle (mm)	N° di particelle/g	area superficiale (cm ² /g)
Sabbia	2,0-0,05	90	11
Limo	0,05-0,002	$5,78 \times 10^6$	454
Argilla	0,002	$9,03 \times 10^{10}$	8 000 000

Componenti di un granello di suolo:

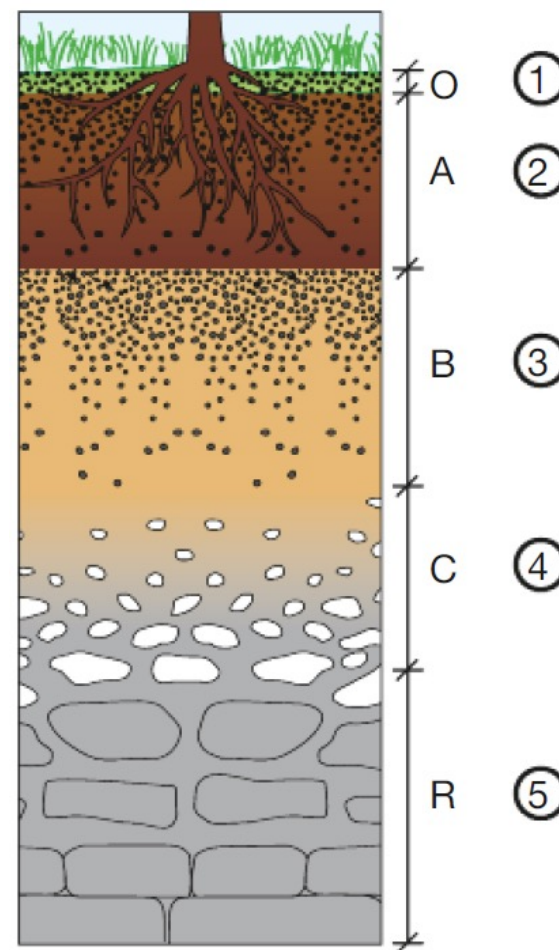


Pedogenesi e composizione del suolo /3

In base alla loro composizione, i suoli possono essere classificati in:

- **minerali**, se formati in massima parte da sostanza inorganica
- **organici**, se ricchi di residui animali e vegetali in decomposizione o già mineralizzati.

Nei suoli più evoluti è possibile distinguere una successione di strati detti «**orizzonti**».



Profilo pedogenetico del suolo

Pedogenesi e composizione del suolo /4

La **componente organica** è formata dai resti di animali e vegetali in decomposizione. Dalla loro parziale decomposizione si forma l'**humus**, sostanza amorfa che contribuisce al colore scuro tipico del terreno.

I **gas** presenti nel suolo sono in relazione alla composizione dell'atmosfera: principalmente anidride carbonica, azoto e ossigeno.

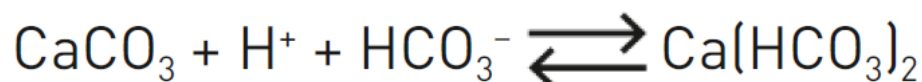
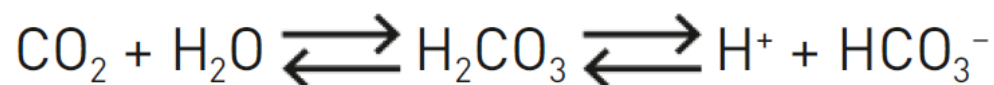
Il suolo è in grado di tamponare in una certa misura le variazioni di **pH** verso l'alcalinità con un lento rilascio di ioni idrogeno: si comporta come un acido debole.

La **salinità** è legata a fattori climatici e meteorici (scarsità di precipitazioni).

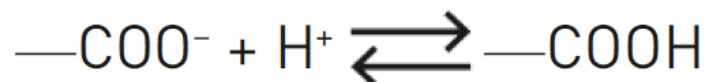
Pedogenesi e composizione del suolo /5

Proprietà tamponanti del suolo:

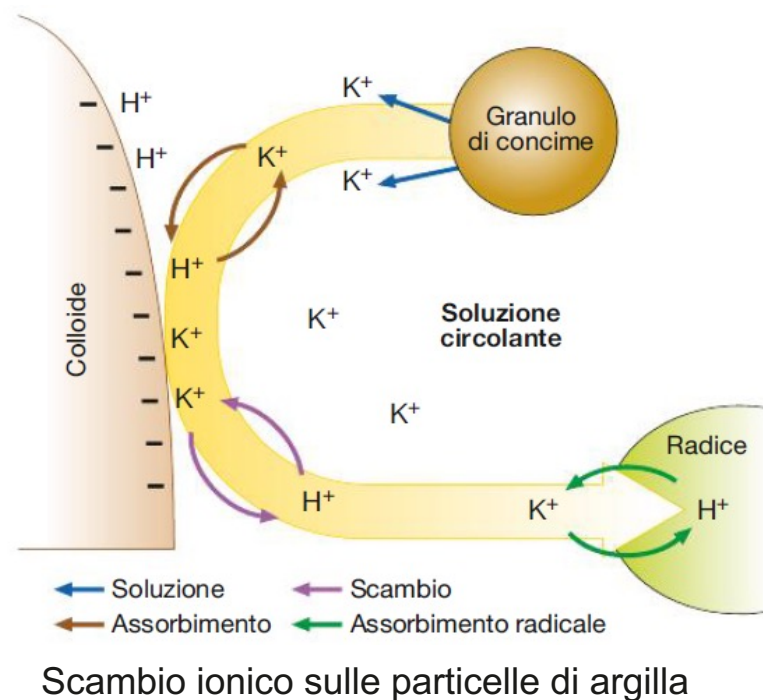
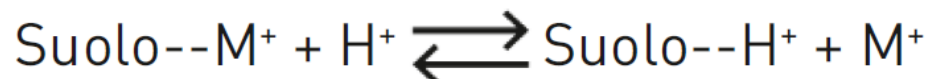
- reazioni di acidi con il carbonato di calcio:



- assorbimento di ioni idrogeno su argille:



- reazioni di scambio ionico:



I microrganismi presenti nel suolo

Nel suolo sono presenti:

- ***Bacteria*** (soprattutto proteobatteri e cianobatteri)
- ***Archaea*** (soprattutto Phylum *Crenarchaeota*)
- **Funghi**
- **Licheni** (associazioni di funghi e alghe)
- **Protozoi**

In ambienti estremi si creano **comunità criptoendolitiche** formate da *Bacteria*, *Archaea* e funghi in grado di adattarsi alle diverse condizioni ambientali.

Immissione di inquinanti nel suolo

Il suolo è soggetto a diversi tipi di **contaminazione**:

- deposizione di inquinanti dall'atmosfera, legata soprattutto al fenomeno delle **piogge acide**
- impiego di **acque inquinate**, di **pesticidi** (fitofarmaci, erbicidi) e di **fertilizzanti**
- **abbandono di rifiuti** solidi o liquidi
- **consumo di suolo**: gli impianti per l'estrazione di ghiaia o di sabbia alterano profondamente il paesaggio con interventi che distruggono interi ecosistemi

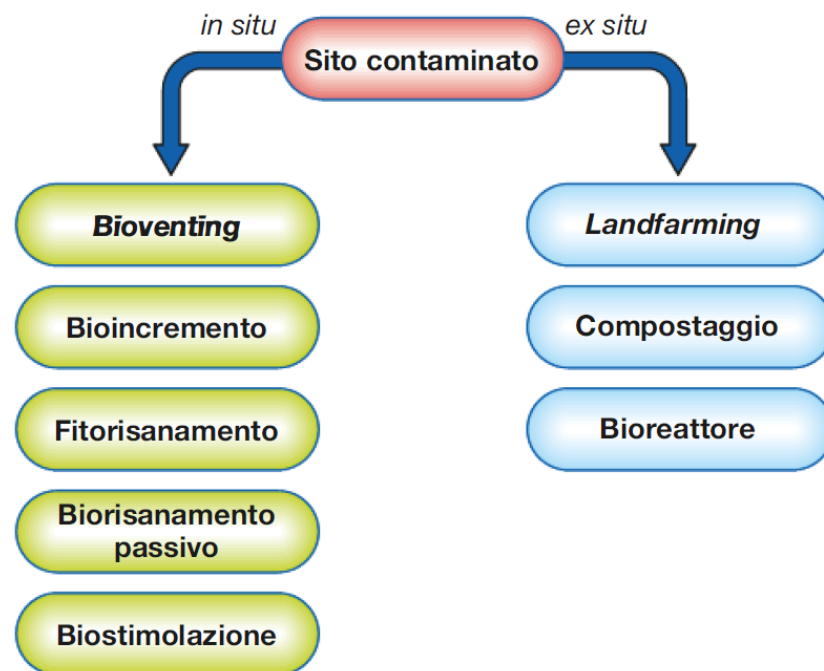
Siti contaminati e biorisanamento

Un **sito contaminato** è un qualsiasi luogo che, per la presenza di sostanze xenobiotiche pericolose, può presentare rischi anche molto gravi a breve, medio o lungo termine per la popolazione, tutte le forme di vita che vi sono distribuite e gli equilibri complessivi del territorio.

Si possono distinguere **3 zone**:

- zona insatura o vadosa
- zona satura
- acqua della falda interessata dalla contaminazione

I **trattamenti per la bonifica** possono essere *in situ* o *ex situ*.



Analisi del rischio sanitario per la popolazione

Il **danno potenziale alla salute per la popolazione** esposto è in funzione di tre parametri:

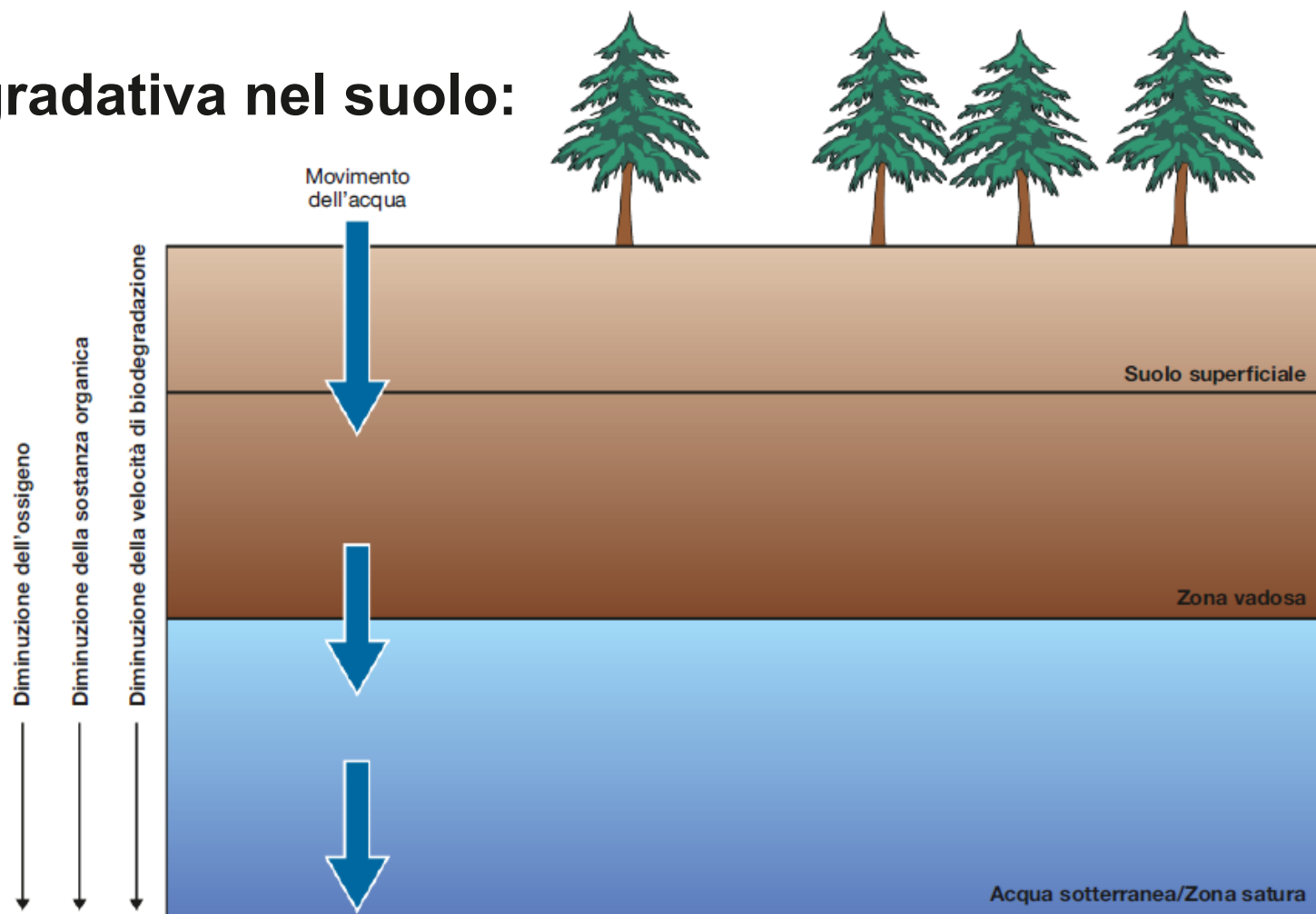
- la **sorgente** di contaminazione
- i **meccanismi di trasporto** del contaminante
- i possibili **bersagli** della contaminazione

L'analisi del rischio si può effettuare con un **metodo**:

- **diretto**: partendo dalla concentrazione del contaminante alla sorgente e stimando il rischio a distanze crescenti
- **inverso**: fissando il livello di rischio per la salute accettabile e calcolando la concentrazione massima compatibile del contaminante alla sorgente

Microrganismi e degradazione degli inquinanti

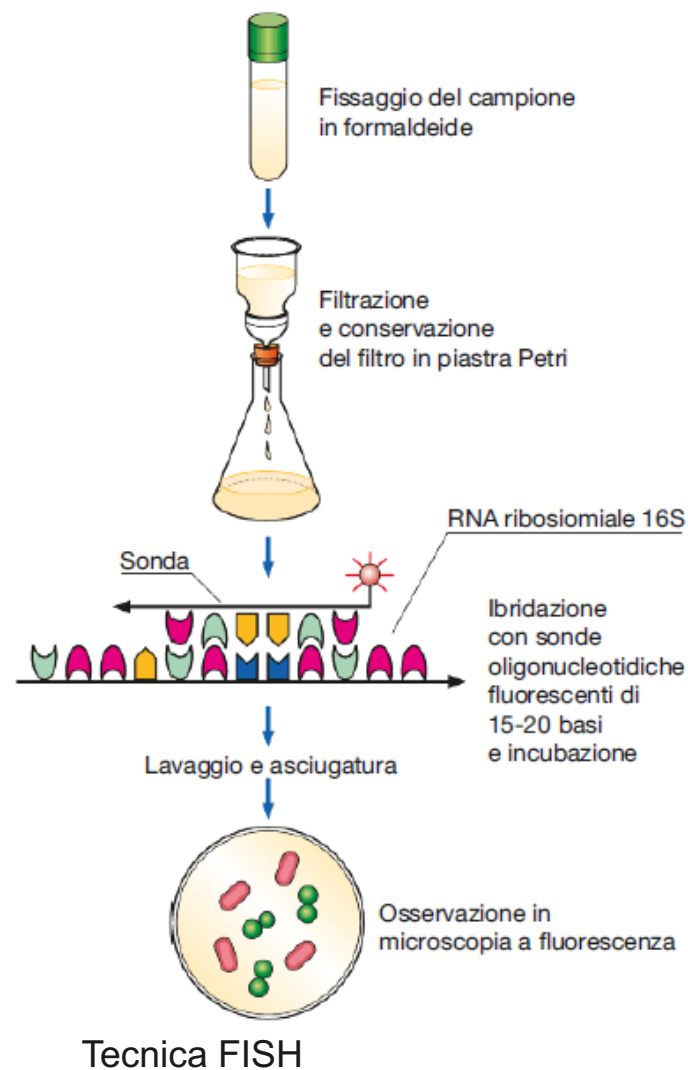
Attività degradativa nel suolo:



Tecnologie di biorisanamento *in situ* /1

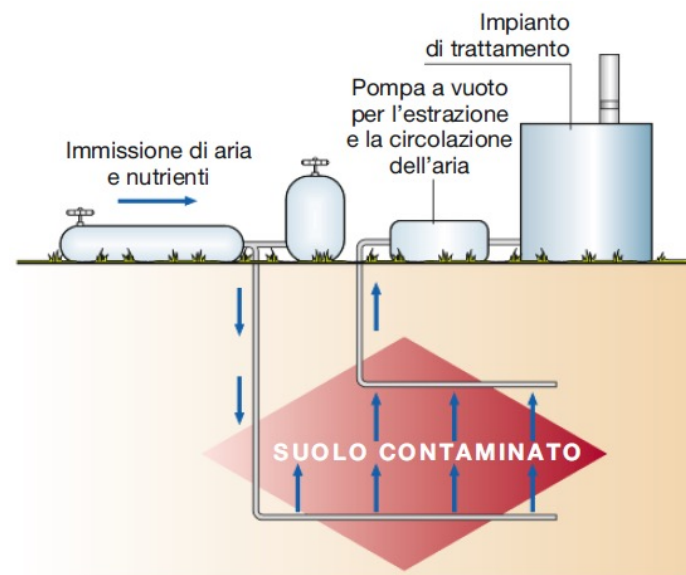
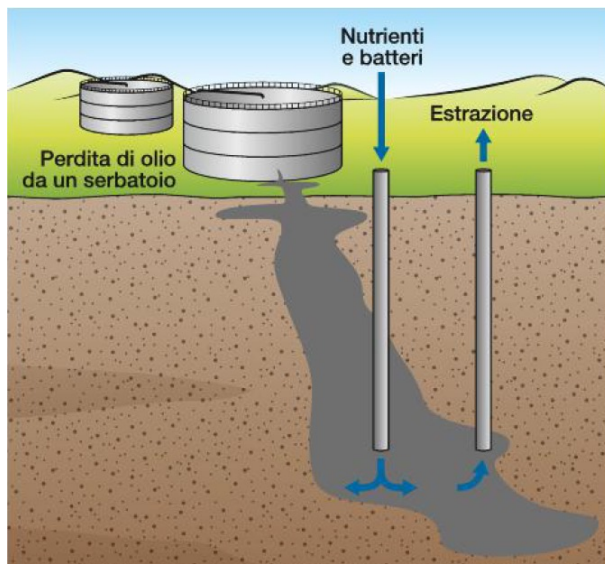
1. Biorisanamento passivo o intrinseco (bioattenuazione): processi naturali di biodegradazione che avvengono nei suoli inquinati da parte dei microrganismi autoctoni.

Una delle tecniche più utilizzate è l'ibridazione fluorescente *in situ* **FISH**.



Tecnologie di biorisanamento *in situ* /2

2. Bioventilazione e biosparging: vengono forniti aria, ossigeno e nutrienti minerali ai microrganismi per accelerare le biodegradazioni aerobiche.

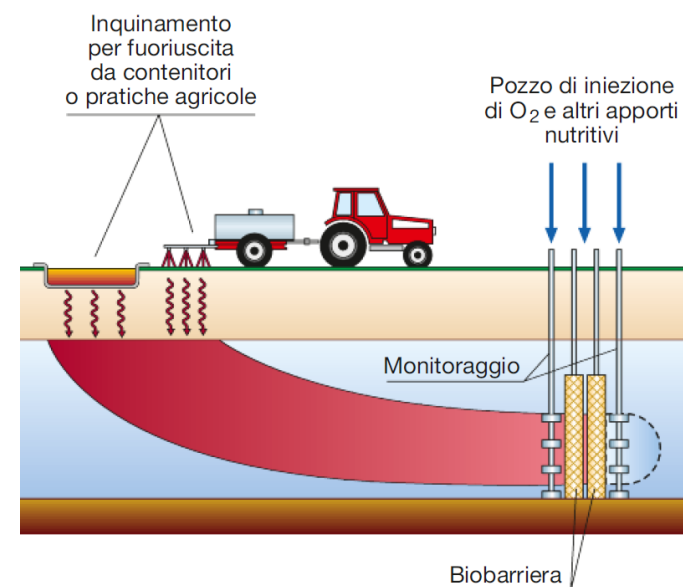
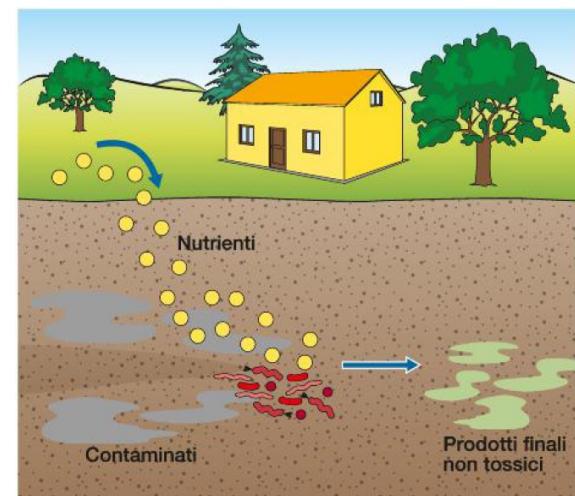


3. Bioaugmentation: inoculazione in situ di microrganismi selezionati in possesso del corredo enzimatico per la degradazione degli inquinanti responsabili della contaminazione.

Tecnologie di biorisanamento *in situ* /3

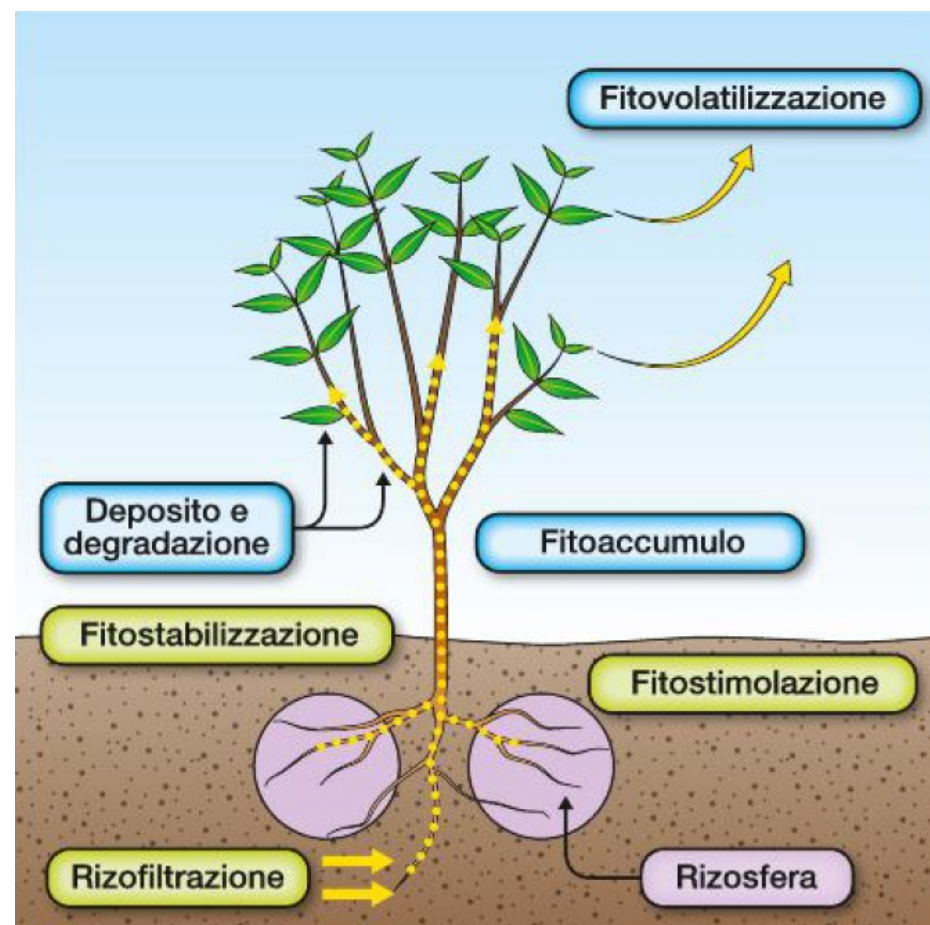
4. Biostimolazione: aggiunta di azoto e fosforo, nutrienti che si rivelano spesso limitanti per lo sviluppo dei microrganismi.

5. Bioremediation di falde inquinate: pozzi di insufflazione d'aria e supporti permeabili colonizzati da microrganismi posti nella falda, perpendicolarmente alla direzione del flusso dell'acqua, per intercettare la massa inquinante.



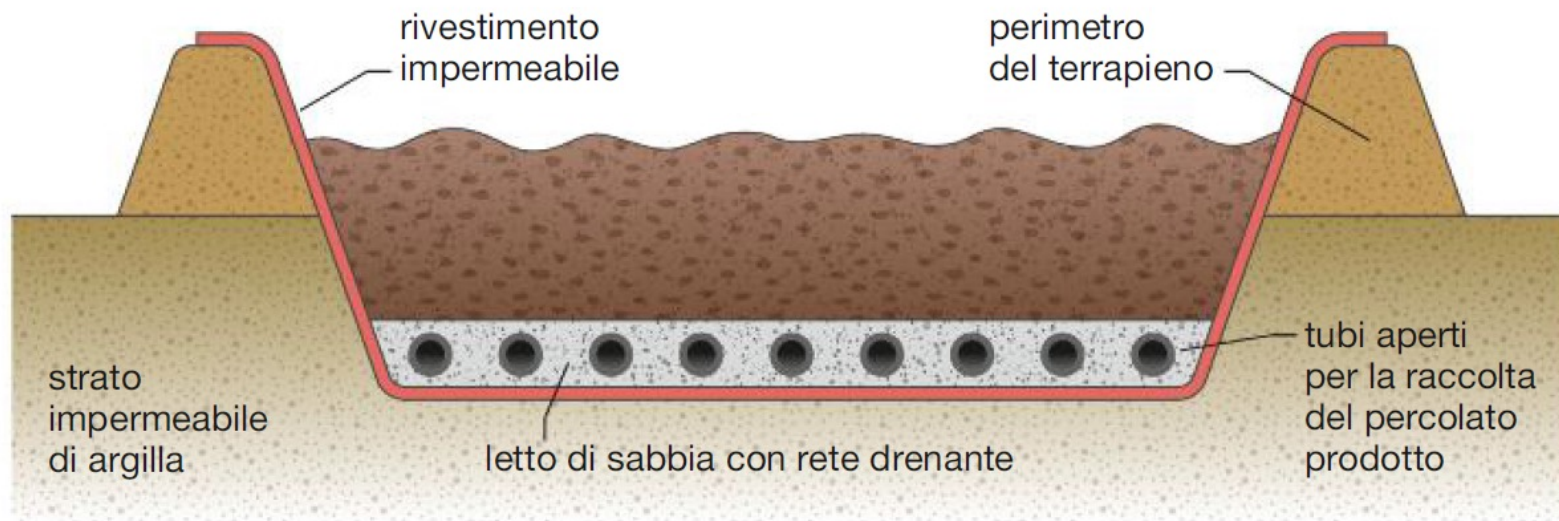
Tecnologie di biorisanamento *in situ* /4

6. Fitorisanamento: molte piante possono essere utilizzate in situ per detossificare o estrarre contaminanti come metalli pesanti o radionuclidi.



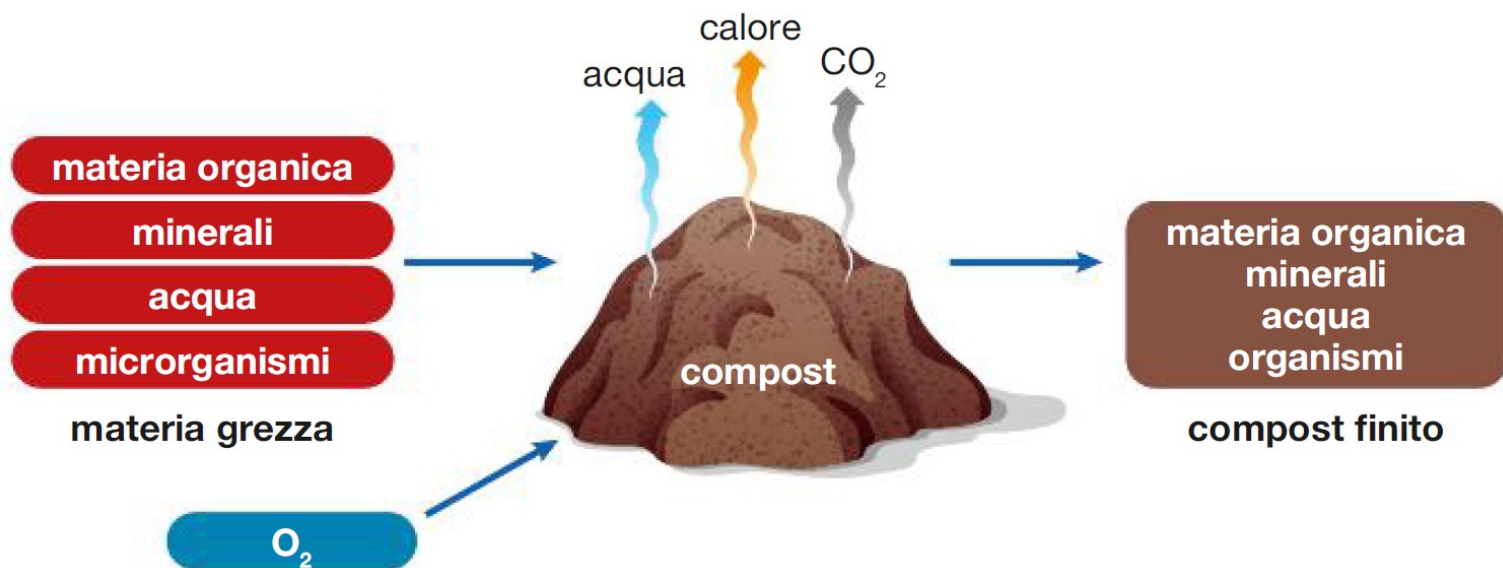
Tecnologie di biorisanamento *ex situ* /1

1. Landfarming: tecnologia on-site, che consiste nel prelevare la matrice inquinata e deporla in uno strato dello spessore di circa 1 metro sopra un letto impermeabile di argilla ricoperta da una geomembrana in polietilene ad alta densità.



Tecnologie di biorisanamento *ex situ* /2

2. Compostaggio: i microrganismi coinvolti nel compost sono in grado di attaccare e degradare sostanze inquinanti e composti tossici dispersi nel terreno. È sempre previsto un pretrattamento del suolo con una sua omogeneizzazione e l'aggiunta di ammendanti, nutrienti e inoculo di ceppi microbici selezionati.



Tecnologie di biorisanamento *ex situ* /3

3. Impiego dei bioreattori: il terreno nel bioreattore viene mantenuto in continua agitazione e ossigenazione, poi convogliato in un separatore per l'allontanamento della frazione sedimentabile da quella più liquida. Il terreno decontaminato può quindi essere riportato in situ.

