



# BIORISANAMENTO per la degradazione di composti tossici

F.C.

I MICRORGANISMI SONO UBIQUITARI E HANNO SISTEMI METABOLICI IN GRADO DI DEGRADARE E UTILIZZARE VARI COMPOSTI TOSSICI COME SORGENTE DI ENERGIA GRAZIE AL METABOLISMO AEROBICO, ANAEROBICO, ALLA FERMENTAZIONE E AL COMETABOLISMO. QUESTO È IL PRINCIPIO DELLA BIOREMEDIATION O BIORISANAMENTO

La bioremediation – o biorisanamento – è un insieme di tecnologie che utilizzano microrganismi naturali o ricombinanti per abbattere sostanze tossiche e pericolose attraverso processi aerobici e anaerobici. Tali processi possono essere applicati in situ – sfruttando i microrganismi residenti o attraverso l'introduzione di ceppi batterici o fungini – oppure ex situ – in bioreattori – e possono essere mediati da batteri (consorzi o ceppi microbici puri), da piante (fitorisanamento) o anche per attenuazione naturale (natural attenuation).

Il biorisanamento comporta la degradazione di composti tossici attraverso la loro conversione in sostanze innocue, ovvero anidride carbonica e acqua. Solitamente la biodegradazione aerobica ha un'efficienza maggiore dei processi anaerobici ed è ampiamente utilizzata, compatibilmente con la natura chimica del contaminante. I processi aerobi e anaerobici possono, inoltre, essere utilizzati in serie, per ridurre la complessità o la tossicità del contaminante. L'efficienza di biodegradazione può essere ulteriormente aumentata attraverso l'utilizzo di microrganismi adattati o acclimatati al contaminante o di microrganismi geneticamente modificati. Tale metodo è noto come bioaugmentation.

Con il termine biorisanamento si indicano varie tecniche: bioventing, biosparging, biostimulation, bioaugmentation, bioleaching, biorisanamento mediato da funghi e biosorption. Il biorisanamento comprende, inoltre, sistemi ingegnerizzati ex situ, quali i bioreattori e l'abbattimento catalizzato da enzimi.

## 🔹 RIMOZIONE DEI METALLI

### Bioleaching

Questa tecnica consiste nell'utilizzo di microrganismi capaci di permettere il passaggio in soluzione di specie metalliche. Alcuni batteri, in particolare, grazie al loro metabolismo capace di ottenere energia dall'ossidazione dei solfuri metallici, contribuiscono al passaggio in soluzione dei metalli da substrati contaminati.

Tra le specie batteriche coinvolte in questi processi si ricordano: *Acidithiobacillus ferrooxidans* e *Acidithiobacillus thiooxidans*; *Leptospirillum ferrooxidans*; *Acidianus brierleyi*; *Sulfobolus brierleyi*; *Acidianus infernus*; *Metallosphaera sedula*; *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*; *Sulfobacillus disulfidooxidans*.

Il bioleaching può, inoltre, essere mediato da specie fungine attraverso vari processi tra cui si ricordano: solubilizzazione eterotrofica (chemoorganotrofica), solubilizzazione mediata da siderofori, biometilazione con produzione di composti volatili, trasformazioni redox, produzione di acidi organici o estrusione di

protoni in suoli acidi, assorbimento sulle superfici cellulari mediata da complessi metallici.

### Biosorption o bioadsorbimento

Questo è un metodo che è stato impiegato come efficace alternativa economica ai metodi tradizionali di detossificazione e recupero di metalli tossici da reflui industriali. La biosorption o bioadsorbimento consiste nell'utilizzo di biomasse vive o morte o di loro derivati per adsorbire ioni metallici a vari tipi di ligandi o gruppi funzionali localizzati sulla superficie esterna delle cellule microbiche. Di conseguenza sono stati sviluppati diversi prodotti commerciali sulla base della caratterizzazione delle proprietà di varie specie di lieviti, alghe, funghi, batteri e alcune specie acquatiche.

Le biomasse vengono immobilizzate su diversi tipi di matrici, le più comuni delle quali sono alginato, poliacrilammina, polisulfone, gel di silice e glutaraldeide. La rimozione delle specie metalliche attraverso i bioadsorbenti è influenzata da vari parametri, quali la superficie utile del bioadsorbente, e parametri chimico-fisici della soluzione (temperatura, pH, concentrazione iniziale degli ioni metallici che competono per i siti di adsorbimento, concentrazione relativa delle specie metalliche, interazioni tra specie e periodo di residenza).

Per ragioni economiche, biomasse di provenienza industriale, come ad esempio il lievito *Saccaromyces cerevisiae* e *Rhizopus arrhizus*, utilizzati per la produzione di acido citrico, si rivelano particolarmente interessanti come alternativa. Anche i funghi filamentosi del terreno *Aspergillus niger*, *Mucor rouxi*, *Rhizopus arrhizus* e *Trichoderma viridae* sono stati utilizzati con successo per la rimozione di elementi potenzialmente tossici. Oltre alle ragioni precedentemente descritte, altri fattori particolarmente vantaggiosi nell'utilizzo del bioadsorbimento sono la possibilità di riutilizzo e di rigenerazione della biomassa e il costo di acquisto e di immobilizzazione su una matrice o su un supporto facilmente reperibile.

### Phytoremediation o fitodepurazione

Questa tecnologia, nota a partire dagli anni '90, consiste nella crescita di piante su terreni contaminanti, cosicché i composti inquinati possano percolare attraverso il sistema radicale e accumularsi in vari organi della pianta come le radici, i fusti, le foglie, ecc. Molte piante, infatti, hanno la capacità di accumulare metalli pesanti essenziali allo sviluppo quali Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo e Ni, assorbendoli dal suolo o dall'acqua, e di utilizzarli per la loro crescita. Alcune piante accumulano metalli pesanti di cui non si conosce il ruolo biologico, come Cd, Cr, Pb, Ag, As e Hg.



La fitodepurazione in situ è una tecnica molto utilizzata sia in Europa che negli Stati Uniti, pur con il limite dovuto al fatto che la contaminazione del suolo non può superare la profondità di crescita delle radici delle piante utilizzate. Oltre a questo fattore, vanno considerate le condizioni climatiche del sito e la biodisponibilità dei contaminanti. Allo stesso modo, va considerato il tasso di crescita delle specie vegetali utilizzate e il limite spaziale dell'area di crescita delle radici. Talvolta si rende necessario effettuare più cicli di coltivazione e raccolta per il recupero totale del sito. Altro fattore importante è che la vegetazione, una volta contaminata, deve essere conferita in modo appropriato.

#### 🔹 RIMOZIONE DI ALTRI COMPOSTI INORGANICI

La bioremediation di composti inorganici comprende applicazioni quali la bioassimilazione, la biodegradazione (aerobica e anaerobica), il bioadsorbimento, la biomagnificazione, il bioaccumulo, la biotrasformazione e la biovolatilizzazione. Le reazioni biochimiche alla base di questi processi consistono principalmente in reazioni di

idrolisi, ossidazioni, riduzioni e sostituzioni o trasferimenti. Tra i composti inorganici per i quali la bioremediation ha giocato e gioca un ruolo assai importante ci sono i composti radioattivi. In particolare, il batterio del genere *Deinococcus* è particolarmente studiato e applicato per la sua capacità di resistere in ambienti estremi per la presenza di radiazioni ionizzanti ed elevate temperature.

#### 🔹 RIMOZIONE DI COMPOSTI ORGANICI

La bioremediation è in grado di convertire in forme meno tossiche e di degradare moltissimi contaminanti organici, come ad esempio pesticidi, organocloruri, bifenili policlorurati (PCB) idrocarburi policiclici aromatici, coloranti sintetici, conservanti del legno, rifiuti da esplosivi e polimeri sintetici. Tutti questi inquinanti sono per natura estremamente resistenti alla biodegradazione da parte della flora e della fauna selvatiche. La bioremediation di questi composti può essere mediata da batteri, funghi, un cocktail di diversi microorganismi, piante o da una combinazione di tutte queste tipologie. In particolare, a causa della scarsa propensione alla biodegradazione, l'utilizzo di funghi implicati nella degradazione della lignina si è rivelato assai prezioso, a causa del loro sistema enzimatico aspecifico.

#### **Fungal Bioremediation**

Le specie fungine hanno il vantaggio, rispetto alla maggior parte dei batteri, di mantenere un'elevata efficienza di degradazione anche in suoli aridi o semiaridi. Oltre a questo, i funghi che causano la carie bianca del legno hanno un ampio set di enzimi, tra cui varie perossidasi, che li rendono molto più efficienti dei batteri che hanno, invece, necessità di un precondizionamento/acclimatamento per crescere in un mezzo ricalcitante.

#### **Biosparging**

Questa tecnologia di remediation in situ impiega microorganismi naturali per degradare contaminanti organici all'interno della zona di saturazione ed è usata soprattutto per il trattamento di acque di falda. I fattori di controllo sono relativi alle caratteristiche del sito (permeabilità del suolo, struttura e stratificazione del terreno, temperatura, ossigeno, pH, nutrienti, densità microbica e presenza di ferro) e alle caratteristiche del contaminante (struttura chimica, concentrazione, tossicità, pressione di vapore, composizione del prodotto e punto di ebollizione, costante di Henry). Questa tecnica trova il suo impiego nel trattamento di siti contaminati da prodotti petroliferi leggeri come il diesel, carburanti per aeromobili e la benzina, che tendono a volatilizzare rapidamente (vedi anche qui per approfondimenti).

#### **Bioventing**

Questa tecnologia di risanamento in situ impiega microorganismi

residenti per la degradazione di composti organici adsorbiti alle particelle del suolo nella zona di non saturazione. Il bioventing utilizza una blanda ventilazione in modo da fornire il solo ossigeno necessario a sostenere l'attività microbica e a evitare la volatilizzazione dei contaminanti. Viene prevalentemente impiegato nella degradazione di prodotti petroliferi leggeri (diesel e carburante per aeromobili) e altri composti volatili come il tricloroetilene, il tricloroetano, il dibromide di etilene e il dicloroetilene.

### **Biostimulation**

Questa tecnica consiste nell'aggiunta di particolari nutrienti a suoli contaminati in modo da stimolare la crescita, in numero e tipologia, di microorganismi residenti capaci di degradare in modo efficace i contaminanti. Questo processo è stato usato principalmente per ripulire terreni e zone umide dopo sversamenti di oli e altri composti organici come il tricloroetilene.

### **Bioaugmentation**

Questa tecnica può essere eseguita in situ o ex situ. Il processo consiste nell'aggiunta di microorganismi naturali ai siti contaminati per decontaminare il suolo o l'acqua da una vasta gamma di composti tossici: ammoniacale, acido solforoso, insetticidi, derivati del petrolio e molti altri. Parimenti alla biostimolazione, la bioaugmentation ha la finalità di decontaminare attraverso processi di bioconversione aerobica o anaerobica delle sostanze inquinanti in forme non tossiche. La bioconversione anaerobica è impiegata solitamente nella degradazione di composti organici come i clorocarburi, i policlorofenoli e i composti nitroaromatici che sono ricalcitranti ai processi di trattamento aerobico. La bioconversione aerobica trova impiego nella degradazione di tiocianati, cianati, idrocarburi aromatici, composti monoaromatici della benzina e il metilterbutilene.

### **Natural attenuation e Phytoremediation**

L'implementazione di soluzioni non strutturali, come l'attenuazione naturale controllata, può essere utilizzata come la sola alternativa economica per la bonifica di suoli e falde contaminate. La riduzione della concentrazione dei contaminanti senza intervento umano è dovuta essenzialmente a una serie di processi di diffusione e trasporto che possono essere suddivisi in distruttivi e non distruttivi. L'attenuazione naturale controllata, secondo la definizione EPA (Environmental Protection Agency) consiste in un approccio di gestione del plume che implica un suo monitoraggio a lungo termine. I processi di attenuazione distruttiva come la biodegradazione sono stati ampiamente impiegati nella degradazione di liquidi densi in fase non acquosa, inquinanti organici clorurati e percolati di discarica. L'attenuazione naturale è certamente più lenta di altri processi indotti, come la bioaugmentation e la

biostimulation, e quindi è sostenibile oltre un certo periodo di tempo. La phytoremediation è ritenuta fattibile per siti molto vasti con una bassa concentrazione di inquinanti e in combinazione con altre tecnologie come fase conclusiva nel recupero di un sito.

### **Trattamento catalizzato da enzimi**

È una delle tecniche più recenti che afferiscono alla famiglia della bioremediation. Essa consiste nell'utilizzo di enzimi prodotti da microorganismi, piante e animali per la rimozione di composti tossici da effluenti industriali.

### **Bioreattori e altre tecniche ex situ**

I bioreattori offrono il beneficio di una degradazione con parametri controllati e con un sistema di monitoraggio costante. Nonostante questi vantaggi, questi sistemi hanno il limite del costo d'investimento e dei costi di gestione, oltre che le spese per l'escavazione dei siti contaminati. Altri sistemi di biodegradazione ex situ includono il landfarming, il compostaggio e le biopile. Il landfarming è una tecnologia che prevede la disposizione di strati di terreno contaminato e di contaminanti su una superficie impermeabile e l'adozione di procedure idonee a creare e mantenere condizioni ottimali per lo sviluppo delle popolazioni microbiche. Nella tecnologia delle biopile, derivata dal landfarming, il terreno viene sovrapposto inserendo alternativamente tubi forati per distribuire nel materiale contaminato, aria e soluzioni di acqua e nutrienti e tubi di estrazione dell'aria dall'ammasso. ●

### **◆ BIBLIOGRAFIA**

- Blais J.F., Shen S., Meunier N., Tyagi R.D. 2003, "Comparison of different natural adsorbents for metal removal from acidic effluent", *Environ. Technol.*, 24, 205–215.
- Clement T.P., Truex M.J., Lee P. 2002, "A case study for demonstrating the application of U.S. EPA's monitored natural attenuation screening protocol at a hazardous waste site", *J. Contam. Hydrol.*, 59, 133–169.
- Eccles H. 1999, "Treatment of metal-contaminated wastes: Why select a biological process?", *Trends Biotechnol.*, 17, 462–465.
- Evans F.F., Rosado S., Sebastian G.V., Casella R., Machado P.L.O.A., Holmstrom C., Kjelleberg S., van Elsas J.D., Seldin L. 2004, "Impact of oil contamination and biostimulation on the diversity of indigenous bacterial communities in soil microcosms", *FEMS Microbiol. Ecol.*, 49, 295–305.
- Evans G.M., Furlong J.C. 2003, *Environmental biotechnology: Theory and applications*, John Wiley and Sons, Chichester, U.K.
- Satinder, Brar, Verma, Surampalli, Misra, Tyagi, Meunier, Blais, *Bioremediation of hazardous wastes, A Review, Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management*, aprile 2006, pp. 59-72.