

SILVIA LAMPIS¹

I microrganismi nella decontaminazione ambientale: tendenze e limitazioni

¹ Dipartimento di Biotecnologie, Università degli Studi di Verona

(Sintesi)

La possibilità di sfruttare la capacità dei microorganismi (batteri e funghi) di aggredire e/o biotrasformare composti inquinanti, organici e/o inorganici, di sintesi o di origine naturale, rappresenta un aspetto di grande interesse per quel che riguarda lo sviluppo di prodotti e strategie nell'ambito della decontaminazione ambientale mediante biorisanamento.

È noto difatti come i microrganismi siano abili degradatori di composti idrocarburici sia alifatici che aromatici, capaci di attaccare molecole anche strutturalmente complesse come IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) ad alto peso molecole e composti idrocarburi alogenati altamente recalcitranti come i PCB (Poli Cloro Bifenili) e le sostanze PFAS (Sostanze Poli e Per-Fluoro Alchiliche), contaminanti emergenti di grande impatto sulla salute degli ecosistemi.

Per quanto riguarda l'abilità degradativa dei microrganismi, è noto come non esistano composti organici naturali che siano totalmente resistenti alla biodegradazione posto che le condizioni ambientali siano favorevoli. Si parla in questo caso del principio di infallibilità microbica (Gale, 1952).

Gli organismi microbici, primi colonizzatori del nostro pianeta, hanno avuto 3,8 miliardi di anni per sviluppare processi metabolici adatti a ricavare energia e carbonio da ogni molecola organica presente in natura. La degradazione microbica può avvenire perché i microrganismi traggono energia e carbonio per le biosintesi dai contaminanti organici oggetto della degradazione oppure perché producono enzimi che oltre a consentire l'utilizzazione dei comuni substrati di crescita possono trasformare/degradare i composti inquinanti attraverso processi di cometabolismo. Le reazioni di degradazione dei composti organici avvengono a velocità maggiori in condizioni di aerobiosi grazie all'azione di enzimi ossidativi come mono- e di- ossigenasi, perossi-

dasi e laccasi. Tuttavia, alcune degradazioni possono avvenire con successo anche in condizioni di anaerobiosi, anche se le velocità di degradazione sono in genere ridotte. È interessante notare come la degradazione di composti quali gli idrocarburi alogenati e alcuni composti aromatici azotati risulti più veloce e completa quando avviene in condizioni di anaerobiosi piuttosto che di aerobiosi. È questo il caso, ad esempio, della dechlorurazione riduttiva del percloro etilene (PCE). Il PCE può essere utilizzato da alcuni batteri quali *Dehalobacter restrictus* o *Dehalococcoides* sp. come accettore finale di elettroni nella respirazione anaerobica attraverso il meccanismo della dechlorurazione riduttiva (Mc Carthy, 1997).

Anche nel caso delle sostanze Per e Poli Fluoro Alchiliche (PFAS), sostanze biologicamente attive di origine antropica, altamente recalcitranti e tossiche per gli ecosistemi, costituite da catene di carbonio e fluoro di lunghezza variabile (tipicamente C_4 - C_{16}) e caratterizzate da stabilità chimica e termica, idro- e oleo-repellenza, è stata dimostrata l'abilità degradativa di alcune specie microbiche (Berhanu et al., 2023). Alcuni batteri si sono dimostrati in grado di degradare PFAS a catena lunga, quali PFOA (Acido Per Fluoro Ottanoico) e PFOS (Acido Per Fluoro Ottan Solfonico), determinando la produzione di PFAS a catena corta, che possiedono potenzialità di adsorbimento e bioaccumulo inferiori. Tra questi sono stati isolati ceppi appartenenti al genere *Pseudomonas* e alle specie *Pseudomonas parafulva* (Yi et al., 2016), e *P. plecoglossicida* (Chetverikov et al., 2017) capaci di degradare lo scheletro carbonioso di PFOA e PFOS in condizioni di aerobiosi. *Acidimicrobium* sp. A6 (Huang and Jaffè, 2019), un batterio autotrofo che ossida l'ammonio a nitrito mentre riduce il ferro ferrico, se esposto a PFOA e PFOS è risultato in grado di rilasciare nel mezzo ioni fluoruro, PFAS a catena corta e acetato. Anche l'incubazione di questo ceppo in presenza di H_2 come unico donatore di elettroni risulta nella defluorinazione di queste sostanze PFAS.

Al tempo stesso la capacità di biotrasformare i metalli pesanti e metalloidi tossici presenti nell'ambiente, li rende potenzialmente utilizzabili in strategie integrate con specie vegetali per la rimozione di tali inquinanti dalle matrici.

Tuttavia, la grande potenzialità intrinseca al metabolismo microbico deve coniugarsi con l'applicabilità nei diversi contesti tenendo conto delle limitazioni legate all'utilizzo dei microorganismi in pieno campo e alla corretta modalità di sfruttamento delle loro capacità metaboliche mediante strategie di biostimolazione o biomagnificazione.

Microorganism for bioremediation in the environment: trends and limitations. *The possibility to exploit the extraordinary ability of microorganisms (both*

bacteria and fungi) to degrade and/or biotransform different pollutants, either organic or inorganic, of natural origin or xenobiotics, is of great relevance for the development of protocols and products for bioremediation.

It is well known that microorganisms can efficiently degrade hydrocarbon compounds, both aliphatic and aromatic, and are capable of degrading complex molecules such as PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), and either many halogenated compounds such as the highly recalcitrant PCBs (Polychlorinated Biphenyl) and PFAS (Per- and PolyFluoroAlkyl Substances).

At the same time, the microbial ability to biotransform toxic heavy metals and metalloids in the environment, makes them potentially useful in integrated protocols with plant species for the removal of these contaminants from polluted matrices. Nevertheless, the great catabolic potential of microorganisms requires the development of appropriate strategies that consider limitations due to their application in field as well as the correct manner of exploitation through either biostimulation or bioaugmentation approaches.

BIBLIOGRAPHY

- BERHANU A., MUTANDA I., TAOLIN J., QARIA M.A., YANG B., ZHU D. (2023): *A review of microbial degradation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): Biotransformation routes and enzymes*, «Science of The Total Environment», 859, 160010, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160010>.
- CHETVERIKOV S.P., SHARIPOV D.A., KORSHUNOVA T.Y. ET AL. (2017): *Degradation of per-fluorooctanyl sulfonate by strain Pseudomonas plecoglossicida 2.4-D*, «Appl Biochem Microbiol.», 53, pp. 533-538, <https://doi.org/10.1134/S0003683817050027>
- GALE E.F. (1952): *The chemical activities of bacteria*, New York, Academic Press, pp. 234.
- HUANG S. AND JAFFÉ P.R. (2019): *Defluorination of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) by Acidimicrobium sp. Strain A6*, «Environmental Science & Technology», 53, 19, 11410-11419, DOI: 10.121/acs.est.9b04047.
- MC CARTY P.L. (1997): *Breathing with chlorinated solvents*, «Science», Jun 6, 276 (5318), 1521-2. doi: 10.1126/science.276.5318.1521. PMID: 9190688.
- YI L.B., CHAI L.Y., XIE Y., PENG Q.J., PENG Q.Z. (2016): *Isolation, identification, and degradation performance of a PFOA-degrading strain*, «Genetics and Molecular Research», May, 15 (2). DOI: 10.4238/gmr.15028043. PMID: 27173322.

