

INTERVENTO DI MYCOREMEDIATION IN UN SUOLO CONTAMINATO DA IPA PRESSO L'ISOLA DELLA CERTOSA (VE)

Paolo Criscione¹, Paolo Bertoldo¹, Mirca Zotti², Simone Di Piazza², Grazia Cecchi², Lisa Pizzo³, Martina Menegaldo³, Giorgio Pucillo⁴

¹ DESAM Ingegneria e Ambiente, via Girardini 13, 31021 Mogliano V., TV, Italy ² DISTAV, Università degli Studi di Genova, corso Europa 16132, Genova Italy ³ GreenDecision s.r.l., Via Torino 155, 30172 Venezia, Italy ⁴ Ptech, Via A.M. Maragliano 10/1, 16121 Genova, Italy

INTRODUZIONE

STATO DELL'ARTE

In base al concetto di BAT (*Best Available Techniques*), la tecnologia di bonifica più adatta per un sito contaminato è quella che riduce le concentrazioni dei contaminanti entro gli obiettivi di bonifica, adottando delle soluzioni sostenibili ed efficaci sul lungo periodo. In quest'ottica, i trattamenti biologici sono una realtà molto promettente poiché risultano spesso efficaci laddove altre tecnologie non sono applicabili, riuscendo a coniugare sostenibilità economica, ambientale e accettabilità sociale. Per essere una valida alternativa ai sistemi più tradizionali, questi tipi di interventi necessitano di un'adeguata progettazione al fine di ottimizzare le condizioni ambientali e promuovere l'attività di biodegradazione in tempi ragionevoli.

GLI IPA E LE CRITICITÀ AMBIENTALI

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono un'ampia classe di composti organici formati da due o più anelli benzenici condensati e organizzati in diverse configurazioni strutturali. L'inquinamento ambientale da IPA dipende in larga misura dalle fonti antropogeniche legate alle attività che richiedono un processo di combustione ad elevata temperatura, come l'utilizzo di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica, il riscaldamento domestico, i trasporti o l'incenerimento dei rifiuti. In atmosfera gli IPA a più basso peso molecolare vengono rapidamente degradati, mentre i più pesanti aderiscono al particolato e possono essere trasportati per lunghe distanze prima di cadere al suolo sotto forma di deposizioni secche o umide (Baek *et al.*, 1991). La loro bassa solubilità e l'immobilizzazione dovuta alle interazioni con le particelle del suolo sono le cause della loro persistenza che, unitamente alla loro tossicità (e in alcuni casi cancerogenicità), li qualifica come contaminanti di particolare rilevanza ambientale (Mueller *et al.*, 1996).

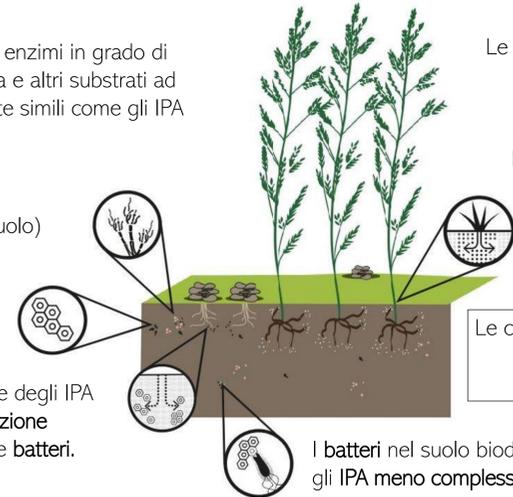
LA MYCOREMEDIATION

La *mycoremediation* è una tecnica di bonifica economica e a basso impatto ambientale che sfrutta la capacità dei funghi di produrre enzimi ad attività ossidoreduziva per degradare la lignina i quali però, data la loro bassa specificità, possono metabolizzare anche altri substrati ad essa strutturalmente simili (Pointing, 2001), come gli IPA (Akhtar & Mannan, 2020).

I funghi producono enzimi in grado di degradare la lignina e altri substrati ad essa strutturalmente simili come gli IPA

IPA (spesso poco biodisponibili nel suolo)

La biodegradazione degli IPA avviene grazie all'azione sinergica di funghi e batteri.



Le piante rilasciano nel suolo essudati radicali capaci di stimolare l'attività biodegradativa di funghi e batteri (rizodegradazione)

Le condizioni di temperatura e umidità devono essere costantemente controllate

I batteri nel suolo biodegradano gli IPA meno complessi

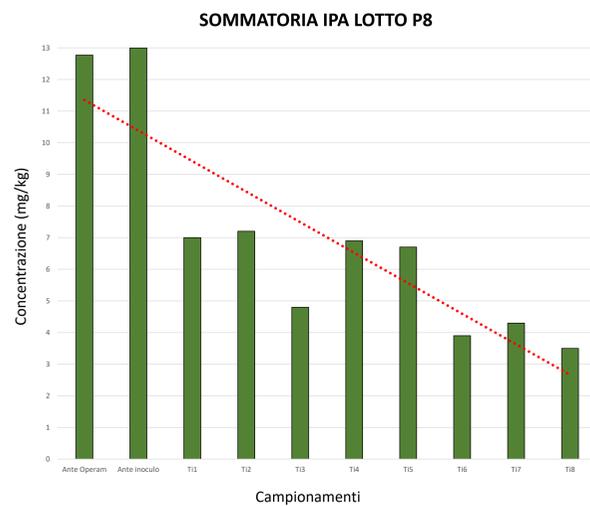
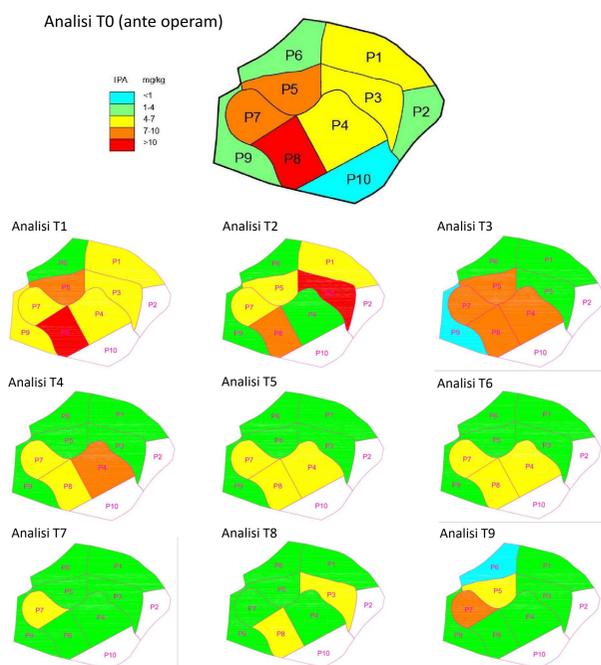
L'INTERVENTO DI BONIFICA

L'area oggetto di bonifica si trova sull'isola della Certosa, a nord-est di Venezia, dove le attività militari del secolo scorso hanno lasciato in eredità una contaminazione diffusa da IPA concentrata nel suolo superficiale. Dopo una serie di test pilota, si è scelto di intervenire con una combinazione di substrati esausti di funghi (*Pleurotus ostreatus*), soluzione concentrata di microrganismi autoctoni e fitorimediale mediante piante erbacee. I substrati esausti sono un sottoprodotto della coltivazione di funghi eduli che in questo intervento sono stati valorizzati nell'ottica dell'economia circolare. Infatti, la paglia dei cereali di cui sono composti, accumula elevati livelli di nutrienti ed enzimi in grado di stimolare la biodegradazione degli IPA (Lau *et al.*, 2003). I microrganismi autoctoni, invece, sono stati selezionati per la loro efficacia a partire da campioni di suolo provenienti dal cantiere e isolati nei laboratori del dipartimento DISTAV dell'Università di Genova. Le operazioni su larga scala sono iniziate a novembre 2021 con il trasporto dei substrati esausti verso l'isola, che, in seguito sono stati distribuiti sull'area, grossolanamente stesi e infine freati e rimescolati con il terreno superficiale. Successivamente, sono stati effettuati gli inoculi dei microrganismi in due diverse fasi. Le attività sono state accompagnate da un costante monitoraggio di temperatura e umidità, parametri critici per l'efficacia dell'azione biodegradativa. Per valutare l'abbattimento della concentrazione degli inquinanti target sono stati eseguiti periodici campionamenti del suolo superficiale finalizzati all'analisi degli IPA in laboratorio. Contestualmente alle attività di monitoraggio dei parametri chimici, sono state eseguite delle indagini mirate a valutare lo stato biologico del terreno. L'indicatore utilizzato è l'indice QBs-ar che si basa sull'identificazione dei principali taxa di microartropodi edafici presenti nei primi centimetri di profondità del suolo. Altri monitoraggi hanno riguardato l'analisi periodica di campioni di terreno per la determinazione delle concentrazioni dei microrganismi.



RISULTATI

L'intervento di *mycoremediation* ha portato a risultati complessivamente soddisfacenti, sia per quanto riguarda gli abbattimenti percentuali delle concentrazioni di IPA che, nonostante una certa eterogeneità spaziale riscontrata nelle campagne di analisi (figura sottostante), sono piuttosto rilevanti, sia in termini di tempistiche. Infatti, va considerato che, i tempi per i trattamenti biologici sono più lunghi rispetto a quelli richiesti da altre tecnologie e la loro efficacia dipende da un'interazione di variabili ambientali sito-specifiche di difficile parametrizzazione.



Il grafico riferito al sub-lotto P8 esemplifica l'andamento della concentrazione di IPA totali per l'intera area oggetto di bonifica. Il trend, risultato non sempre univoco, è legato alla presenza diffusa di materiali di riporto che rendono le caratteristiche del suolo eterogenee, comprese le condizioni di umidità, che condizionano l'attività metabolica dei funghi. Nonostante ciò, il grafico evidenzia una netta tendenza al decremento con un abbattimento delle concentrazioni di IPA totali di circa il 73%. Per quanto riguarda le altre sub-aree la diminuzione delle concentrazioni totali è meno evidente ma comunque apprezzabile per singoli contaminanti target. Anche gli esiti dell'analisi dello stato biologico del suolo hanno evidenziato elevati valori numerici per l'indice QBs-ar, che testimonia la presenza di condizioni edafiche nel complesso favorevoli ai microorganismi presenti nel terreno, inclusi i funghi.

Maggiori abbattimenti riscontrati

	Lotto	Ante operam (mg/kg)	Post operam (mg/kg)	Abbattimento
Benzo(g,h,i)perilene	P8	1,84	0,34	81,52%
Indeno(1,2,3-cd)pirene	P8	1,55	0,32	79,35%
Dibenzo(a,h)antracene	P8	0,44	0,098	77,73%
Dibenzo(a,i)pirene	P8	0,51	0,124	75,69%
Benzo(a)pirene	P8	2,5	0,61	75,60%
Benzo(b)fluorantene	P8	2,1	0,65	69,05%
Dibenzo(a,e)pirene	P8	0,37	0,118	68,11%
Benzo(k)fluorantene	P8	1,16	0,38	67,24%
Benzo(a)antracene	P8	2,3	0,81	64,78%
Dibenzo(a,l)pirene	P5	0,024	<0,010	62,50%

I maggiori decrementi nelle concentrazioni di IPA sono stati rilevati per il sub-lotto P8, con valori anche oltre l'80%. A livello di intero sito contaminato il Benzo(g,h,i)perilene è il contaminante che ha subito la riduzione più consistente, mentre il più recalcitrante è il Benzo(a)pirene che, a causa delle forti interazioni con le argille e la sostanza organica presente nel suolo (Manilal & Alexander, 1991) e del *soil aging* (Yap *et al.*, 2010) ha una scarsissima biodisponibilità.

La tecnologia di bonifica è perfettamente in linea con i principi dell'economia circolare grazie al recupero di residui di produzione (substrati esausti) e alla minimizzazione dei rifiuti generati. Questi aspetti sono stati integrati all'interno di una LCA (*Life Cycle Assessment*) condotta in collaborazione con l'Università Ca' Foscari di Venezia. Con questo tipo di studio si è voluto confrontare gli impatti ambientali dell'intervento di *mycoremediation* rispetto a quelli prodotti da un ipotetico scavo e smaltimento in discarica, alternativa più tradizionale e consolidata. I risultati ottenuti sono emblematici e dimostrano in maniera indiscutibile che la tecnologia applicata è nettamente più sostenibile con un impatto ambientale inferiore di oltre il 95% rispetto al *Dig&Dump*.

ESTREMI DEGLI ATTI AUTORIZZATIVI
Decreto Regione Veneto n. 08 del 22 febbraio 2018
Decreto n. 26 del 6 giugno 2019

COMMITTENTE
VdV S.r.l. / Isola della Certosa / 30141 Venezia

PROGETTISTA
G&T Srl / via Tiepolo 8, 31027 Spresiano (TV)

DIRETTORE DEI LAVORI E COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE
Ing. Andrea Bondi / InTeA Srl

IMPRESA ESECUTRICE ATTIVITÀ DI BONIFICA
Desam Ingegneria e Ambiente S.r.l. / Via Girardini, 13
Iscrizione ANGA Cat. 9 n. VE23272

RESPONSABILE TECNICO
Dott. Paolo Criscione / Desam Ingegneria e Ambiente

COLLABORAZIONE TECNICA E SCIENTIFICA
Prof. Emanuele Argese / Università Ca' Foscari di Venezia
Ptech S.r.l. / Via Maragliano 10/1 - 16121 Genova (GE)
Prof.ssa Mirca Zotti / Università di Genova
GreenDecision s.r.l. / Via Torino, 155 / 30172 Venezia (VE)
Prof.ssa Anna Volpi / Università Ca' Foscari di Venezia

