



DICATAM  
Università degli Studi  
di Brescia



DICAR  
Università degli Studi  
di Catania



DICEA  
Sapienza, Università  
di Roma

## ***SiCon 2019***

***Workshop su: Siti Contaminati. Esperienze negli  
interventi di risanamento***

**Brescia  
12-14 Febbraio 2019**

**Protezione ambientale e bonifica siti  
contaminati con geocompositi attivi**

Alberto Simini  
HUESKER Srl  
Piazza della Libertà 3, 34132 Trieste, Italy  
a.simini@huesker.it

Kristof Thimm  
HUESKER Synthetic GmbH  
Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, Germany  
thimm@huesker.de



## **Protezione ambientale e bonifica siti contaminati con geocompositi attivi**

*Alberto Simini*

*HUESKER Srl, Piazza della Libertà 3, 34132 Trieste, Italy, a.simini@huesker.it*

*Kristof Thimm*

*HUESKER Synthetic GmbH, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, Germany,*

*thimm@huesker.de*

**Sommario.** Il presente articolo intende evidenziare come la combinazione tra materiali attivi e geosintetici possa rappresentare una ulteriore soluzione per la bonifica di siti contaminati e la protezione ambientale. Un materiale composito costituito da geosintetici e materiali attivi può essere utilizzato per differenti soluzioni di capping in-situ. Questa combinazione di materiali garantisce una posa più facile e veloce e una minore necessità di materiale in quanto può essere garantito uno spessore costante indipendentemente dalle condizioni del sito, dalle correnti, dalla situazione atmosferica e dalle pendenze di posa. L'articolo illustra anche le prestazioni di vari materiali attivi nei confronti di diversi contaminanti sia per la realizzazione di capping di siti contaminati a terra o in acqua, sia per la protezione ambientale da sversamenti accidentali di sostanze contaminanti. La combinazione di geosintetici e materiali attivi è in grado di fornire una soluzione in molti differenti progetti di ingegneria ambientale; la capacità di assorbimento e l'ampia gamma di materiali attivi che vanno dai carboni attivi alla zeolite, a diversi tipi di polimeri, unita alla stabilità meccanica e chimica dei geosintetici garantiscono un'area di applicazione ancora più ampia.

### **INTRODUZIONE**

I sedimenti contaminati sono un problema ambientale significativo e diffuso (EPA, 2013). Possono seriamente compromettere la navigabilità e l'utilizzo a fini ricreativi di fiumi e porti (EPA, 2005). In questo paper verranno discussi i possibili campi di applicazione e il modo in cui affrontare il problema, nonché il modo in cui il capping attivo può essere una soluzione aggiuntiva per queste problematiche.

I porti marittimi sono sempre una fonte di notevole inquinamento ambientale poiché le loro attività sono associate a una particolare contaminazione delle aree acquatiche e dei sedimenti di fondo (Enton, et al., 2005). I contaminanti entrano nell'ambiente acquatico attraverso il traffico marittimo, il carico e le operazioni di manutenzione, nonché attraverso il deflusso delle acque piovane, lo scarico degli effluenti e la polvere (Enton, et al., 2005) (Guerra-García, et al., 2005) (Schiff, 1996).

Le aree industriali dismesse sono note potenziali minacce per l'ambiente per la mancanza in passato di conoscenza e di norme relative alle sostanze potenzialmente nocive. A causa della necessità di acqua per i processi industriali, molti di questi siti si trovano in prossimità di fiumi e laghi e hanno provocato una costante contaminazione a lungo termine dei sedimenti dei corpi idrici. Esempi di siti sono ex impianti di trattamento del legno, impianti a gas, attività minerarie e cartiere (Enton, et al., 2005) (Leipzig, 2003).

Diverse tecnologie sono attualmente utilizzate per affrontare la problematica dei sedimenti contaminati tra cui il Monitored Natural Recovery (MNR), il MNR potenziato (EMNR), il capping in-situ, il dragaggio/scavo o una combinazione di questi approcci. Queste soluzioni di bonifica hanno tutte dei vantaggi e degli svantaggi e dei limiti relativamente alla protezione della salute degli esseri umani e dei rischi ecologici associati alla gestione di sedimenti contaminati (EPA, 2013). La decisione riguardo a quale tecnologia di bonifica dovrebbe essere utilizzata in un determinato sito deve essere basata su una analisi di valutazione del rischio.

Il Monitored Natural Recovery è una soluzione che utilizza in genere processi noti, applicati in numerosi casi e presenti in natura per contenere, distruggere o ridurre la biodisponibilità o la tossicità dei contaminanti nei sedimenti. I principali vantaggi di questo metodo sono i costi di implementazione relativamente bassi e la sua natura non invasiva. Gli svantaggi sono che i contaminanti sono lasciati sul posto senza alcun progetto di capping e che la riduzione del rischio può essere lenta rispetto a bonifiche di tipo attivo (EPA, 2005).

Con il termine "capping in-situ" ci si riferisce al posizionamento di una copertura o di un capping sottomarino di materiale pulito posizionato al di sopra di sedimenti contaminati che rimangono nella loro posizione originaria. I vantaggi di questo metodo sono la rapida riduzione dell'esposizione dei contaminanti, la semplicità esecutiva e le limitate interferenze con l'ambiente circostante. Tuttavia, i contaminanti sono lasciati sul posto e potrebbero essere dispersi o esposti se il sistema di capping venisse danneggiato.

Una bonifica mediante dragaggio e scavo rimuove i sedimenti dal corpo idrico e prevede anche trattamenti di post-dragaggio come la disidratazione, il trattamento delle acque, il trasporto e il trattamento dei sedimenti (riutilizzo o

smaltimento). Questo processo raggiunge alti livelli di efficacia e minimizza i rischi relativi ad una futura esposizione dei contaminanti in quanto i sedimenti vengono rimossi anziché gestiti in sito. Gli svantaggi sono i costi elevati e la necessità di trasporto, stoccaggio, trattamento e di un eventuale smaltimento. C'è inoltre la possibilità che i sedimenti in sito rimangano parzialmente contaminati, il che potrebbe comportare la necessità di ulteriori azioni come lo scavo, il MNR o il capping (EPA, 2005).

Il presente studio si concentra sulla progettazione e sul funzionamento dei capping in-situ e sui vantaggi che derivano dall'uso di compositi geosintetici attivi come parte essenziale di essi.

## **PROGETTAZIONE DEL CAPPING**

I sistemi di capping in-situ sono utilizzati per ridurre i rischi derivanti dalla presenza di sedimenti contaminati attraverso le seguenti funzioni primarie:

- 1) Isolamento fisico: ridurre l'esposizione diretta e prevenire la bioturbazione da parte di organismi bentonici;
- 2) Stabilizzazione: fornire protezione contro l'erosione e ridurre la risospensione e il trasporto di contaminanti nel corpo d'acqua;
- 3) Isolamento chimico: ridurre l'esposizione di contaminanti disciolti nel corpo d'acqua (EPA, 2005).

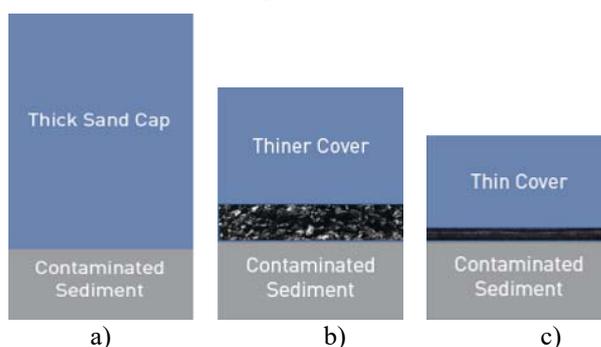
Oltre a queste funzioni che devono essere soddisfatte dal capping, ci sono anche ulteriori problematiche aggiuntive che devono essere affrontate per garantire una performance adeguata del sistema. Queste sono specifiche del sito e consistono in erosione e avvezione a causa di correnti e manovre di navi, scarichi sottomarini delle acque sotterranee, stabilità delle scarpate, capacità portante, diffusione, consolidamento ed effetti causati dalla comunità bentonica.

Questi sistemi di capping possono essere progettati e posati in diversi modi per soddisfare queste funzioni. Possono consistere principalmente in sabbia e fornire così una barriera ai contaminanti presenti all'interno dei sedimenti grazie unicamente allo spessore dello strato posato. I capping in sabbia hanno dimostrato efficacia nel contenere i contaminanti e hanno impedito l'esposizione delle comunità bentoniche e pelagiche, tuttavia il loro elevato spessore può ridurre la capacità idrica e di stoccaggio, aumentare il rischio di inondazioni e ridurre la profondità navigabile del corpo idrico (EPA, 2013).

Per aumentare l'efficacia del capping e ridurre lo spessore, possono essere posati materiali attivi come il carbone attivo o l'argilla organofila al fine di legare o bloccare gli agenti contaminanti nell'attraversamento del capping. Questi materiali contribuiscono in modo particolare alla funzione primaria del capping ovvero all'isolamento chimico. Nel caso di posa unicamente di sabbia, questa

funzione viene raggiunta solo attraverso l'effetto di barriera meccanica che riduce la velocità di diffusione dei contaminanti. L'installazione di materiale sciolto leggero può essere difficile in quanto la lentezza nella precipitazione, in combinazione con correnti o pendenze del fondale, può portare alla realizzazione di strati attivi di spessore più sottile sparsi su un'area più ampia. Questo tipo di capping è stato testato in laboratorio, in progetti sia di tipo pilota che di vasta scala negli Stati Uniti (EPA, 2013).

Un confronto tra tre diversi progetti di capping è illustrato nella Figura 1. Il vantaggio di un capping attivo rispetto a un capping in sabbia è lo spessore notevolmente ridotto. Prove di laboratorio e successive modellazioni hanno dimostrato che un sottile strato di materiale altamente adsorbente come il carbone attivo può avere oltre 100 volte la capacità di adsorbimento per PCB (policlorobifenili) di una sabbia o un terreno ricco di sostanze organiche contenente il 3,8% di carbonio (Murphy, et al., 2004).



**Figura 1.** Confronto tra tre diversi progetti per capping in-situ su sedimenti contaminati. a) capping di sabbia; b) capping attivo con materiale attivo sciolto e uno strato protettivo di sabbia; c) capping attivo con materiale attivo come parte di un geocomposito attivo che garantisce uno spessore costante del capping sull'intera area di installazione.

Il processo di progettazione del capping può essere supportato e valutato utilizzando diversi strumenti di modellazione che sono già stati sviluppati. Uno molto sofisticato è CapSIM del Prof. Danny Reible, Texas Tech University. Tale modello ha capacità uniche nel descrivere i processi all'interfaccia acqua-sedimento, compresi gli specifici processi di bioturbazione, trasferimento di massa bentonico, consolidamento e deposizione, nonché l'avvezione, la diffusione e l'assorbimento e reazione di tipo lineare e non lineare. Il modello può simulare il comportamento in più strati di sedimenti o capping di sedimenti, compresi i capping attivi (Reible, 2017).

## **GECOMPOSITI ATTIVI**

I geocompositi attivi consistono di uno o più materiali attivi (strato attivo), racchiusi tra due strati geosintetici (strati di protezione) come mostrato nella Figura 2. Questi geocompositi consentono il posizionamento accurato di sostanze attive aventi un basso peso specifico che potrebbero altrimenti rimanere in sospensione durante le operazioni di posa in opera.

I geocompositi impediscono anche la miscelazione di materiali attivi con sedimenti sottostanti, consentendo un'applicazione più uniforme e una protezione contro l'erosione. Alcuni dei materiali attivi che possono venire inclusi nel geocomposito hanno un peso specifico inferiore a quello dell'acqua. Per garantire un'installazione corretta, facile e veloce, è possibile utilizzare geotessili con un peso specifico più elevato o mescolare una frazione di sabbia con i materiali attivi al fine di realizzare un tappetino che può essere facilmente posato sott'acqua.



**Figura 2.** Visione esplosa di un geocomposito attivo. Consiste di due strati di protezione in geotessile nero e strato di nucleo attivo bianco.

L'utilizzo di geocompositi attivi consente l'installazione di uno strato di materiali attivi in maniera più veloce, facilità e sicura. Uno spessore costante dello strato attivo è assicurato su tutta l'area coperta, in maniera indipendente dalla presenza di correnti o di pendenze, garantendo così un aumento delle prestazioni del sistema di capping. Un geocomposito attivo di spessore 10 mm può sostituire 1 m di sabbia o di terreno, il che aiuta a mantenere le profondità navigabili e le portate dei corsi d'acqua (Olsta, et al., 2010). In aggiunta, i geotessili utilizzati possono migliorare le prestazioni dell'intero sistema di capping e agire come uno strato filtrante, impedendo la miscelazione tra i diversi strati e permettendo così la realizzazione di un capping del tutto uniforme.

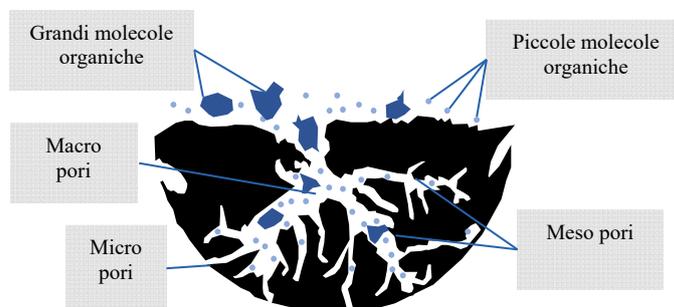
Un ulteriore vantaggio di questi materiali è la loro permeabilità ai gas. Sebbene ciò sembri poco intuitivo dato che il geocomposito attivo è utilizzato per

incapsulare i contaminanti e mantenerli in posizione, la presenza di gas formati al di sotto del capping può portare a un sollevamento e a un rigonfiamento e quindi al collasso del sistema. In un test di lunga durata condotto dal Naval Facilities Engineering Command nel 2011 è stato specificamente testato questo aspetto e nella relazione finale sul sistema si afferma che: “Il metodo di bonifica testato che ha previsto un geocomposito con copertura di sabbia, viene raccomandato come tecnologia efficace per incapsulare i contaminanti nei sedimenti e prevenire il sollevamento dovuto all’accumulo di gas” (Hawkins, et al., 2011).

### **MATERIALI ATTIVI**

I materiali che possono essere utilizzati come strato attivo nei compositi geosintetici possono variare a seconda delle esigenze. Principalmente utilizzati sono prodotti ben noti come il carbone attivo, che è stato utilizzato nell’industria chimica dagli anni ‘20, e l’argilla organofila, utilizzata nell’industria petrolifera e del gas per il trattamento delle acque di processo contaminate da olio.

Il carbone attivo sfrutta la sua ampia superficie interna per legare i contaminanti tramite processi di adsorbimento. Questa elevata area per unità di superficie è il risultato della struttura microporosa del materiale che è illustrata in maniera schematica in Figura 3.



**Figura 3.** Struttura micro porosa di carbone attivo. I diversi pori sono classificati per diametro. Macro pori > 50  $\mu\text{m}$ , Meso pori > 2  $\mu\text{m}$  e < 50  $\mu\text{m}$ , Micro pori < 2  $\mu\text{m}$ .

La tipologia e la quantità dei diversi tipi di pori dipendono dalle caratteristiche del materiale da cui il carbone proviene. Se questo ha già una struttura in carbonio fine, come ad esempio il guscio di noce di cocco, il carbone attivo prodotto avrà una quantità maggiore di micropori. Una struttura porosa fine ha

ovviamente i suoi limiti in caso di presenza di molecole grandi, come ad esempio il petrolio. Queste molecole possono bloccare la rete dei pori e ridurre conseguentemente in maniera anche significativa la capacità di adsorbimento. Altre fonti per il carbone attivo possono essere il legno, il carbone bituminoso o altri materiali con una struttura di base in carbonio.

Il carbone attivo non si limita all'adsorbimento di contaminanti ma anche facilita e accelera il degrado biologico dei contaminanti. Specifiche analisi mostrano che il carbone attivo granulare (GAC) si è dimostrato il più efficace dei materiali analizzati per il capping e ha accelerato e facilitato il degrado del naftalene in presenza di ossigeno (Pagnozzi, et al., 2017).

Le argille organofile sono argille modificate sulla loro superficie che hanno dimostrato di essere efficaci adsorbenti per composti insolubili e parzialmente insolubili come il creosoto o il catrame. La produzione di argille organofile avviene per sostituzione del catione superficiale della bentonite con una molecola organica. Le ammine quaternarie basate sul sego sono il composto organico più comunemente usato. L'argilla risultante è oleofila, idrofoba e permeabile. Un'argilla organofila adeguatamente composta è caratterizzata da un rigonfiamento minimo a seguito di adsorbimento organico e dal mantenimento di un'elevata permeabilità (Olst, et al., 2010). Nel trattamento dell'acqua derivante dalla produzione di petrolio greggio offshore, le argille organofile hanno rimosso gli idrocarburi poliaromatici a livelli non rilevabili (Darlington, 2002).

Un altro materiale attivo che può essere utilizzato in un geocomposito attivo è il fosfato di calcio, disponibile in diverse forme, per legare i metalli pesanti mediante precipitazione. Ci sono inoltre potenziali applicazioni per zeoliti, che vengono utilizzate nel trattamento delle acque per rimuovere nitrati e metalli come piombo, zinco e rame (Thomas, et al., 1998) e per il ferro zero-valente, già utilizzato con successo anche in barriere reattive permeabili per la dechlorazione di idrocarburi clorurati e la precipitazione riduttiva di cromo (VI) a cromo (III) (Powell, et al., 2002).

## **PROGETTI REALIZZATI E IN CORSO DI REALIZZAZIONE**

### **Capping di sedimenti contaminati**

Nell'ex impianto di trattamento del legno gestito da McCormick & Baxter, situato nel fiume Willamette a Portland, Oregon, USA, nel 2005 sono stati installati circa 2.300 m<sup>2</sup> di geocomposito attivo riempito di argilla organofila, per la realizzazione di un capping di sedimenti contaminati da PAH (idrocarburi policiclici aromatici), gasolio, creosoto, pentaclorofenolo e una varietà di diversi metalli pesanti (EPA, 2013).

L'area circostante a questo sito di bonifica sarà inoltre oggetto di ulteriori futuri progetti di bonifica. Quest'area fa parte del programma Super Fund Site dell'Agenzia Statunitense per la Protezione Ambientale (US EPA) e la decisione riguardante la bonifica di quasi 10 miglia (circa 16 km) del fiume è stata pubblicata nel gennaio 2017. La bonifica attualmente in progetto prevede 1,5 km<sup>2</sup> di capping e 7 km di sponde del fiume che necessitano di dragaggio o di capping o entrambi (EPA, 2017).

### **Messa in sicurezza di siti contaminati**

Il sito contaminato K20, una vecchia discarica di rifiuti industriali, è situato circa un km a sud della città di Brückl, nella valle Gurktal, in Austria. La discarica è stata operativa tra il 1926 e il 1981 e vi sono stati conferiti diversi rifiuti tra cui carburo di calcio, idrocarburi clorurati (CHC) e materiali contaminati con mercurio. I CHC conferiti erano soprattutto tetracloroetilene, tricloroetilene, esaclorobutadiene, esacloroetano ed esaclorobenzene. Si è stimato che la quantità totale di CHC conferiti fosse tra 100 e 1.000 tonnellate. Nel 2009 è stata emessa un'ordinanza per bonificare il sito K20 attraverso la rimozione completa di tutto il rifiuto ed il successivo trattamento o smaltimento. Nel 2014 è stata rilevata la presenza di esaclorobenzene, sia nell'ambiente che in cibi prodotti localmente, nelle vicinanze del cementificio incaricato di bruciare i fanghi di calce inquinati e pertanto la bonifica del sito contaminato è stata interrotta. La rimanenza in sito del materiale inquinato ha richiesto un nuovo processo di bonifica, dal momento che un'altra gara europea per il suo trattamento si è conclusa senza successo.

In accordo con tutte le autorità competenti è stato quindi deciso di mettere in sicurezza in sito K20. Un elemento chiave dell'intervento di bonifica è il sistema di capping multistrato e multifunzione. Il sistema di capping innovativo è costituito da un geocomposito bentonitico con 11 kg/m<sup>2</sup> di bentonite calcica, un geocomposito attivo con 2 kg/m<sup>2</sup> di carboni attivi, una membrana in LDPE con incorporato un foglio di alluminio impermeabile ai CHC e un geocomposito drenante costituito da un nucleo cuspidato in HDPE e un geotessile non tessuto filtrante in PP. Il geocomposito attivo, costituito da due geotessili non tessuti e uno strato intermedio di carboni attivi, ha la funzione di diminuire la concentrazione di CHC al di sotto della membrana soprastante e ridurre così la diffusione dei gas nocivi attraverso il sistema di capping. I due geotessili non tessuti garantiscono la stabilità meccanica dello strato di carboni attivi. Ciò consente una posa semplice e rapida del geocomposito in tutte le circostanze. Allo stesso tempo, lo strato attivo è completamente protetto contro qualsiasi possibile erosione causata dall'acqua o da forti pendenze. In virtù della sua storia, il sito K20 ha una topografia altamente irregolare. Mentre le pendenze tipiche delle discariche (1:2 - 1:3) si trovano in molte zone del sito, alcune aree presentano pendenze molto più elevate, con inclinazioni fino a 70°. Ciò ha reso necessario un notevole lavoro preliminare per diminuire le pendenze di queste aree fino ad un massimo di 1:2. Per tale motivo sono stati posati due strati di

geogriglie di rinforzo di idonea resistenza. Il dimensionamento è stato effettuato in base a quanto previsto da normative europee e raccomandazioni nazionali. Per la protezione degli strati impermeabili è stato posato uno strato di terreno di copertura di 65 cm di spessore. Lo strato finale di copertura è stato realizzato con terreno vegetale, con funzione antierosione e per garantire un ottimo inserimento dell'opera nell'ambiente circostante. In aggiunta al sistema di capping, l'acqua di falda è stata protetta realizzando un diaframma profondo da 15 a 35 m, in combinazione con un abbassamento permanente del livello della falda. L'acqua inquinata è stata pompata all'esterno e successivamente trattata con carboni attivi.

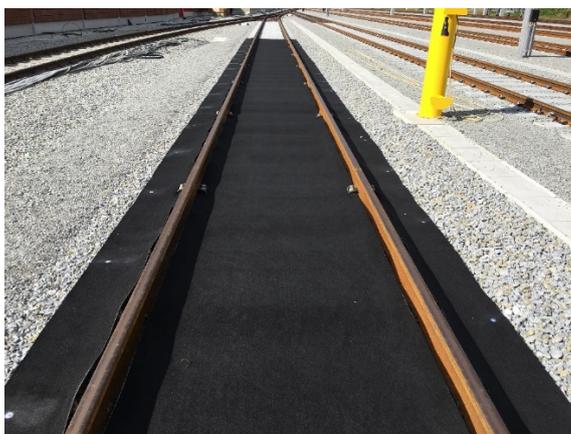


**Figura 4.** Fasi di posa del capping. In primo piano si vede il geocomposito bentonitico calcico; dietro, di colore bianco, il geocomposito attivo con carboni attivi; in grigio, la membrana in LDPE con incorporato lo strato in alluminio.

### **Protezione della falda**

I grassi e gli oli utilizzati nei veicoli ferroviari possono rappresentare una minaccia per le falde acquifere. Nelle aree di parcheggio utilizzate prima o dopo gli interventi di manutenzione, la probabilità di una contaminazione aumenta sensibilmente. In caso di contaminazione, il ballast ed eventualmente anche il terreno sottostante devono essere bonificati. Questo tipo di interventi può essere molto lungo e costoso.

Per eliminare il pericolo di contaminazioni, nella stazione di Schärding, è stato utilizzato come misura di prevenzione un geocomposito attivo realizzato con polimeri assorbenti idrocarburi. Il materiale è stato fissato alle traversine, in modo tale che tutto il grasso e l'olio potessero essere assorbiti, evitando così la contaminazione degli strati sottostanti. Il materiale è stato fornito in rotoli di due diverse larghezze (1,40 m e 0,35 m), per garantire una posa facile e veloce. I rotoli dovevano solo essere srotolati e fissati alle traversine.



**Figura 5.** Il geocomposito attivo protegge il ballast, il terreno e la falda dalla contaminazione da oli.

## CONCLUSIONE

La combinazione di geotessili e materiali attivi offre una soluzione aggiuntiva per molti tipi di progetti di ingegneria ambientale. Le capacità di legame del contaminante e lo spettro di materiali attivi che vanno dal carbone attivo, all'argilla organofila, a zeoliti e a vari tipi di polimeri, combinati con la stabilità meccanica e chimica dei geotessili garantisce un campo di applicazione ancora più ampio. La bonifica di sedimenti contaminati con capping mediante geocompositi attivi è stata condotta con successo negli ultimi anni in diversi siti negli Stati Uniti. In Europa i progetti di capping sono stati realizzati soprattutto in Norvegia, nei fiordi di Oslo e Odda. Per quanto riguarda invece la bonifica di siti contaminati e la protezione della falda, è l'Europa ad essere "pioniera" in questo campo con già numerosi progetti realizzati con successo. Con le nuove possibilità di produzione di geocompositi attivi in Germania, questa tecnologia di bonifica e protezione ambientale certamente troverà sempre maggiori

applicazioni in tutto il mondo nell'arco dei prossimi anni.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Darlington, J. W. (2002). *New Technology Achieves Zero Discharge of Harmful Alkyl Phenols and Polyaromatic Hydrocarbons from Produced Water*. Stavanger Norway: Proceedings of ONS Conference, Offshore Northern Seas Foundation, 2002.
- Enton, et al. (2005). *Trace metals in sediments of four harbors in Guam*. sl: Mar. Pollut. Bull. 50, 1121, 2005.
- EPA. (2005). *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*. sl: US Environmental Protection Agency - Office of Solid Waste and Emergency Response, 2005. EPA-540-R-05-012; OSWER 9355.0-85.
- . (2017). *RECORD OF DECISION - Portland Harbour Superfund Site*. sl: U.S. Environmental Protection Agency Region 10, 2017.
- . (2013). *Use of Amendments for In Situ Remediation at Superfund Sites*. sl: United States Environmental Protection Agency - Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 2013.
- Guerra-García, José M. and Carlos, García-Gómez J. (2005). *Assessing pollution levels in sediments of a harbour with two opposing entrances. Environmental implications*. 77. Jg., Nr. 1, S. 1-11.: Journal of Environmental Management, 2005.
- Hawkins, Amy L., et al. (2011). *REACTIVE CAPPING MAT DEVELOPMENT AND EVALUATION FOR SEQUESTERING CONTAMINANTS IN SEDIMENT. FINAL REPORT*, Project No: ER-1493: Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC), 2011.
- Leipzig, UFZ. (2003). *Forschen für die Umwelt Ausgabe 4*; Research for the environment 4th Edition. 2003.
- Murphy, P. J. and Lowry, G. V. (2004). *In Place Management of PCB-Contaminated Sediments: Performance Evaluation and Field Placement of Sorbent-Amended Sediment Caps*. American Chemical Society, Columbus, OH: Proceedings of Environmental Chemistry Division 228th ACS National Meeting, pp. 629-636, 2004.
- Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. (2013). *Use of Amendments for In Situ Remediation at Superfund Sites*. sl : United States Environmental Protection Agency, 2013.
- Olsta, James T. and Darlington, Jerald W. (2010). *Innovative Systems for dredging, dewatering or for in-situ Capping of contaminated sediments*.

- Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy: sn, 2010.
- Pagnozzi, Giovanna, et al. (2017). *Effect of Capping Material on Naphthalene Transformation in Model Bioactive Capping Systems*. New Orleans, LA, USA: Ninth International Conference on Remediation and Management of Contaminated Sediments, 2017.
- Powell, R. M., et al. (2002). *Economic Analysis of the Implementation of Permeable Reactive Barriers for Remediation of Contaminated Ground Water*. Cincinnati, OH, USA: US Environmental Protection Agency, EPA 600/R-02/034, National Risk Management Research Laboratory, 2002.
- Reible, Prof. Danny. (2017). *Reible Research Group*. <https://www.depts.ttu.edu/ceweb/groups/reiblesgroup/downloads.html>. [Online] Texas Tech University, 1 February 2017.
- Schiff, Kenneth. (1996). *Review of existing stormwater monitoring programs for estimating bight-wide mass emissions from urban runoff*. S. 44-55: Southern California coastal water research project annual report, 1995, 1996.
- Thimm, K. and Simini, A. (2017), *Active Geosynthetic Composites for subaqueous capping*. RemTech 2017, Ferrara, Italy.
- Thomas, W. J. and Crittenden, B. D. (1998). *Adsorption Technology and Design*. Oxford, Great Britain, UK: Butterworth-Heinemann, 1998.