

Banca dati cooperativa per il supporto alle decisioni sulle tecnologie di messa in sicurezza e bonifica di siti contaminati

S. D'Arpa (*), V. Tandoi (**), V. F. Uricchio (*), A. Volpe (*)

(*) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca Sulle Acque-V.le F. De Blasio,5, 70123 Bari,
tel 0805820511, fax 0805313365

e-mail, stefania.darpa@ba.irsra.cnr.it, vito.uricchio@ba.irsra.cnr.it, angela.volpe@ba.irsra.cnr.it

(**) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca Sulle Acque Via Salaria Km. 29,300 C.P. 10,
00016 Monterotondo Scalo (RM), tel 0690672850, fax 0690672787, e-mail, tandoi@irsra.cnr.it

Riassunto

Oggetto di questo studio è la definizione di un sistema informativo per la gestione cooperativa delle informazioni relative alle tecnologie di messa in sicurezza e bonifica dei siti contaminati, attraverso la formulazione delle caratteristiche dell'*authentication* server. L'obiettivo è di rendere dinamico l'arricchimento delle conoscenze di base al supporto alle decisioni sulle migliori tecnologie di messa in sicurezza e bonifica dei siti contaminati, attraverso la definizione di parametri derivanti da sperimentazioni *in situ* ed in laboratorio. La banca dati, implementata nell'ambito del progetto "Banca dati tossicologica del suolo e dei prodotti derivati", è stata arricchita di ulteriori criteri di selezione delle tecniche di bonifica attraverso azioni sperimentali condotte in laboratorio e in un sito contaminato ricadente nel Parco Nazionale dell'Alta Murgia, riserva di grande importanza per il patrimonio naturalistico, paesaggistico, agricolo e storico-culturale. Nell'area oggetto di studio è stata riscontrata una contaminazione da idrocarburi insieme ad elevate concentrazioni di cromo ed altri metalli pesanti. È stata quindi allestita una sperimentazione per valutare l'efficienza di un trattamento di *landfarming* sulla degradazione biologica degli idrocarburi, tenendo conto dei possibili effetti di quest'ultimo processo sulla mobilitazione del cromo. Sono stati confrontati diversi metodi di trattamento, basati sull'aerazione del suolo e sull'aggiunta di diversi ammendanti, valutando le condizioni di trattamento ottimali per ottenere la minima concentrazione residua di contaminanti.

I risultati dello studio hanno portato alla definizione di parametri in grado di determinare, attraverso meccanismi di autoapprendimento, un riallineamento dei contenuti informativi del sistema di supporto alle decisioni, inducendo una sostanziale trasferibilità degli esiti della sperimentazione a situazioni analoghe. Il *database* realizzato dal CNR-IRSA e dall'Università del Salento per l'Assessorato all'Ecologia della Regione Puglia, basato sul modello relazionale e implementato utilizzando il DBMS MySQL, è stato sviluppato per acquisire informazioni sulle tecnologie di bonifica e di rappresentare le esperienze maturate.

Il sistema, integrato innovativo e ad alta interoperabilità, è stato sviluppato utilizzando software *Open Source* (MySQL, Apache, PHP, PHP2Go Web Development Framework)

Abstract

This work attempts to create an information system for the management of security measures and remediation practice of contaminated sites, throughout authentication server technologies.

The main feature of the decision support system illustrated in this work is the direct update of the associated database with results obtained from laboratory-scale investigations and/or *in situ* experiments.

In the project "Banca Dati Tossicologica del suolo e dei prodotti derivati" (BDT), a database on the best practices and technologies to remediate contaminated sites was created. This database was integrated with information (metadata) obtained through experimental activities. The latter were

carried out in the “Parco Nazionale dell’Alta Murgia”, which is considered of high importance not only for wildlife and unique landscape but also for agriculture, and historical and cultural features. Soil contamination by hydrocarbons in combination with high concentrations of total chromium was found in a wide area of the site. A laboratory-scale investigation was carried out to evaluate the efficiency of landfarming practices for the enhancement of HC biodegradation, also taking into account the potential effect of bioremediation operations on mobilization of chromium. To this aim, the effect of soil aeration and the addition of nutrients and amendments of different origin were tested.

The results of the study led to define parameters that were implemented in the BDT database and subsequently processed through multicriteria analysis technologies, thus providing useful support to the decisional processes that allow planning of remediation actions in similar cases.

The database, realized by CNR-IRSA and Università del Salento (University of Salento) for the Assessorato all’Ecologia della Regione Puglia, (Apulia Region ecology Department) is based on a web interface and developed in MySQL. The applications used are developed on Open Source software and the system is well-integrated, innovative and characterized by high interoperability.

Premessa

Il presente lavoro si inserisce all’interno del progetto “Banca Dati Tossicologica del Suolo e dei Prodotti Derivati” le cui basi di dati sono poi confluite nel Sistema Informativo Pugliese per l’Ambiente (SIPA). Nell’ambito della “Banca dati tossicologica del suolo e dei prodotti derivati”, è stato implementato un *Decision Support System* (DSS) relativo ai fenomeni di inquinamento legati alle sostanze caricate nella banca dati, che consente di rendere immediatamente disponibili e facilmente consultabili le informazioni riguardanti le principali caratteristiche ambientali dei suoli pugliesi fornendo il necessario supporto ai decisori pubblici e privati impegnati in attività di caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica di siti contaminati, perseguite in maniera sostenibile. La banca dati è accessibile direttamente all’indirizzo:

<http://bdt.regione.puglia.it/home.html>

Le informazioni contenute nella banca dati riguardano lo stato di inquinamento del suolo pugliese, e sono raccolte in diversi database, fra cui la Banca dati cooperativa per il supporto alle decisioni sulle tecnologie di messa in sicurezza e bonifica di siti contaminati oggetto di tale studio.

La banca dati contiene informazioni (a differente grado di dettaglio) sulle tecnologie da utilizzare per la bonifica dei siti contaminati, le procedure di analisi, gli aspetti normativi relativamente ai siti contaminati presenti sul territorio pugliese (<http://bdt.regione.puglia.it/tdb/bonifica.html>).

Il presente lavoro illustra in che modo i risultati ottenuti da attività sperimentali possono venire integrati all’interno del database del DSS e quali sono i principali vantaggi che derivano da tale integrazione.

Descrizione della sperimentazione condotta sui suoli dell’Alta Murgia

Particolarmente interessanti nell’ottica delle attività finalizzate al recupero funzionale del territorio, sono stati i risultati raggiunti nel progetto finanziato dalla Regione Puglia di recupero funzionale ed il ripristino ambientale di due siti contaminati presenti all’interno del Parco Nazionale dell’Alta Murgia.

Nel 2003 sono state individuate, all’interno del Parco, alcune aree interessate dallo sversamento illecito di rifiuti, localizzate nei territori di Altamura e di Gravina in Puglia, per una superficie totale di circa 300 ettari.

La zona protetta dell’Alta Murgia riveste un grande interesse per le sue peculiarità di tipo naturalistico, geologico, architettonico, archeologico e paleontologico. Inoltre, una parte del parco è utilizzata a scopi agricoli essendo destinata da lungo tempo alla coltivazione del grano utilizzato anche per la produzione del tipico pane di Altamura fregiato del marchio DOP. Il parco è stato dichiarato “Sito di Importanza Comunitaria IT 912997” e soggetto pertanto a severe regolamentazioni a livello regionale ed europeo.

Le aree contaminate, sottoposte a sequestro giudiziario, sono state soggette agli adempimenti di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale prescritti dal DM 471/99.

La specificità del sito ha imposto uno studio preliminare per l'individuazione di tecnologie di bonifica ecosostenibili e pertanto è stato avviato un approfondimento di indagine volto alla valutazione comparativa delle differenti ipotesi di intervento. Una prima fase di caratterizzazione del sito ha messo in evidenza la contaminazione di ampie porzioni di suolo dovuta essenzialmente ad idrocarburi pesanti ($C>12$) e ad elevate concentrazioni di cromo.

E' stata dunque allestita una sperimentazione, in scala laboratorio, per valutare l'efficienza di un trattamento di *landfarming* sulla degradazione biologica degli idrocarburi, tenendo conto dei possibili effetti di quest'ultimo processo sulla mobilitazione del cromo. L'efficacia del *landfarming* nel ridurre la concentrazione di tutti i componenti tipici dei derivati idrocarburici del petrolio è ampiamente documentata in letteratura (Maila M.P., Cloete T.E. 2004; Mohammed et al. 2007;). Sono stati confrontati diversi metodi di trattamento, basati sull'aerazione del suolo e sull'aggiunta di diversi ammendanti, valutando le condizioni di trattamento ottimali per ottenere la minima concentrazione residua di contaminanti. Dati gli esiti della sperimentazione e date le peculiarità del sito studiato, tale tecnica, semplice, non invasiva e di basso costo è stata proposta come la modalità di bonifica più adeguata.

Dai risultati della sperimentazione all'implementazione del DSS (Decision Support Sistem): Metodi

L'implementazione di un DSS per scegliere e comparare tra loro diverse alternative utili a selezionare ed identificare criteri e soluzioni che meglio si adattano a specifiche realtà rappresenta un'utile strumento nell'ambito della gestione delle politiche ambientali.

Gli esiti di attività sperimentali sono fonte di validi criteri e permettono di colmare alcune lacune informative che possono ridurre l'efficacia del DSS implementato.

I risultati ottenuti dall'attività sperimentale, precedentemente decritta, hanno avuto un'importante duplice valenza: da un lato hanno fornito alla Regione Puglia le indicazioni necessarie alla pianificazione degli interventi da attuare per il recupero funzionale ed il ripristino ambientale del sito inquinato, dall'altro, sono stati fonte di ulteriori informazioni con cui aggiornare la banca dati delle tecniche di bonifica, arricchendo i contenuti informativi del sistema di supporto alle decisioni e inducendo una sostanziale trasferibilità degli esiti della sperimentazione a situazioni analoghe.

Le informazioni estratte dalla sperimentazione, per renderle utilizzabili dal DSS, sono state normalizzate e inserite in un DataBase relazionale. Il DataBase è stato progettato ed implementato in maniera tale da poter contenere tutte le informazioni ricavate dalle sperimentazione e garantendo interoperabilità con il sistema DSS e con la Banca Data Tossicologia. Le scelte di progetto sono state effettuate in maniera tale da rendere condivisibili on-line le informazioni contenute nelle banche dati grafiche ed alfanumeriche.

Il DataBase logicamente contiene due differenti base informative: le tabelle che descrivono fin nei più minuti dettagli la metodologia di bonifica in essere durante l'attività sperimentale condotta in campo e le altre tabelle che associamo dei punteggi (score) in funzione del costo della tecnica, alla sua efficacia relativa, etc.

I valori degli *score* sono dedotti a seguito proprio dall'attività sperimentale ed i parametri scelti sono per il momento solo di tipo quantitativo (es. i costi di *remediation*) ma nulla esclude che, in futuro, anche parametri di carattere qualitativo possano essere coinvolti (es. il livello di preparazione tecnica del personale addetto per applicare quella particolare tecnica di bonifica, livello di accettazione/gradimento di una certa tecnica di bonifica da parte degli *stakeholders* etc). Questo tipo di impostazione consente, all'atto dell'interrogazione del database rispetto ad uno specifico contaminante, che, una volta estratte tutte le schede di tutte le metodiche di bonifica relative al contaminante preso in considerazione, l'ordine di visualizzazione delle schede non sia casuale né cronologico ma stabilito dal valore dello *score* che gli è stato associato e che induce su di

esse un *ranking* per efficacia di risultati ottenuti dal trattamento usato, nel caso particolare qui discusso, il *landfarming*.

Nel caso in cui gli attributi associati ad un particolare trattamento siano numerosi (maggiori di 1) l'imposizione di un *ranking* non è immediata ma necessita di una analisi decisionale. Si tratta sostanzialmente di un'analisi di ottimalità rispetto a criteri multipli, i quali possono anche essere in conflitto tra loro. Per esempio, un trattamento a basso costo potrebbe avere una bassa efficacia relativa, si tratta dunque di trovare il trattamento (o i trattamenti, non è detto che la soluzione a questo problema sia unica) che massimizzi tutti i criteri coinvolti.

In più non è detto che il manager ambientale attribuisca lo stesso valore o "peso" ai criteri disponibili, per es. potrebbe ritenere preponderante il fattore economico, in tal modo nella funzione obiettivo in cui compaiono (generalmente in formato additivo) i criteri si introducono dei parametri moltiplicativi associati a ciascuna variabile/criterio per cui l'aspetto finale della funzione obiettivo diventa il seguente:

$$\max \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

dove i c_i sono i pesi e gli x_i i criteri opportunamente standardizzati in modo da renderli dimensionalmente omogenei. L'analisi di ottimalità viene ripetuta ad ogni ingresso di nuove schede in modo che venga assegnato a ciascuna scheda il proprio *rank* che viene aggiornato ad ogni nuova introduzione di schede di trattamento.

Il DSS, consultabile *on-line*, è stato progettato utilizzando tecnologie *Open Source* utilizzando come DBMS il software MySQL e come piattaforma per il WEB le seguenti applicazioni: Apache, PHP, PHP2Go Web Development Framework. (Fig. 1)

Scheda Tecnica di Bonifica

Nome:	Landfarming
Nome Alternativo:	Land Treatment
Descrizione:	Coltivazione del suolo (aggiunta di concimi e periodica dissodatura) al fine di promuovere la proliferazione della flora batterica eterotrofa in presenza di un determinato contaminante organico.
Modalità:	In Situ; On Site
Stato:	Scala Reale
Principio di funzionamento:	Tecnologia di tipo microbiologico. La coltivazione del suolo ha come scopo la fornitura degli elementi essenziali alla vita e alla proliferazione dei microrganismi decontaminanti.
Efficienza:	90 %
Durata:	valutata su un tempo medio di tre anni
Costo:	10-50 €/mq Il costo indicato NON include la realizzazione di un eventuale zona attrezzata per il trattamento on site (realizzazione scavi e impermeabilizzazione del fondo e delle pareti).
Disponibilità:	Molti fornitori
Fattore Limitante:	Biodegradabilità dei composti; solubilità dei composti e possibilità di trasporto negli strati profondi del suolo insieme alle acque di percolazione (per applicazione in situ); tessitura del terreno.

Fig. 1 – Sistema DSS consultabile *on-line*

Per garantire un'efficiente condivisione dei dati sul web, si è cercato di minimizzare l'uso di risorse elaborative, allo scopo di velocizzare lo scambio di informazioni sulla rete. Tale efficienza si è ottenuta attraverso l'utilizzazione di alcuni accorgimenti tecnici tra cui l'eliminazione di eventuali

ridondanze, la normalizzazione delle informazioni ed il richiamo dei dati strettamente necessari per le relative elaborazioni.

Le interrogazioni dei dati on-line avviene tramite appositi *forms*, realizzati in php. Ogni form è stato accuratamente progettato e modellato con layout di semplice comprensione ed utilizzo.

L'usabilità dei forms è stata valutata analizzando:

- la coerenza nel *layout* dei forms, per offrire una continuità semantica e stilistica costante;
- la validazione *client-side* dei dati per ridurre l'uso di risorse sul server e l'imputazione di dati errati;
- la chiarezza e la semplicità degli oggetti presenti nei forms tale da renderli il più possibile auto-esplicativi e comprensibili.

Considerazioni conclusive

Il principale vantaggio introdotto dall'integrazione dei database della BDT con le informazioni dedotte dagli esiti di sperimentazioni su campo consistono nel conferire valore aggiunto in termini di dinamicità e continua evoluzione delle informazioni contenute nel DSS.

Le esperienze maturate attraverso la ricerca sperimentale, introdotte come informazioni nei database vengono acquisite e rielaborate dagli strumenti software del sistema informativo migliorando l'efficacia e l'affidabilità del DSS, offrendo un supporto integrato, aggiornato ed innovativo che facilita il compito del decisore nella scelta delle migliori soluzioni disponibili che, nel medio e lungo termine, potranno soddisfare le esigenze prioritarie della bonifica dei suoli.

Riferimenti bibliografici

<http://bdt.regione.puglia.it/home.html>

<http://bdt.regione.puglia.it/tdb/bonifica.html>

Mohammed, Ramsubhag, Beckles, 2007. *An assessment of biodegradation hydrocarbons in contaminated soil using non indigenous, commercial microbes* – Water Air Soil Pollution 349-356.

Maila M.P., Cloete T.E. (2004). *Bioremediation of petroleum hydrocarbons through landfarming: are simplicity and cost-effectiveness the only advantages?*, Reviews in Environmental Science and Biotechnology 3, 349-360.

