

# PROCEDURE DI INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE DI SEDIMENTI CONTAMINATI

Carlo INNOCENTI (\*), Andrea SALMERI (\*), Alessandro NAVACH (\*), Maria Elena PICCIONE (\*), Lorenzo ROSSI (\*), Giuseppe TRINCHERA (\*)

(\*) ICRAM (Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare). Via di Casalotti, 300 00166 Roma. Tel +390661570490, Fax +390661561906. Indirizzo e-mail [c.innocenti@icram.org](mailto:c.innocenti@icram.org)

## Riassunto

L'interpretazione dei risultati delle indagini eseguite su un sito potenzialmente inquinato, implica inevitabilmente di dover gestire una mole notevole di dati. La conoscenza di un fenomeno di inquinamento richiede infatti il prelievo di campioni da aree anche molto vaste e la valutazione di numerosi parametri.

Perché il contenuto informativo del dato sia fruibile è tuttavia necessario che quest'ultimo sia organizzato e trattato in modo opportuno. Ciò può essere proficuamente ottenuto abbinando la gestione del dato in GIS a opportune metodologie di elaborazione dati.

## Abstract

Evaluating the extent and the grade of the contamination of a potentially polluted site implies the management of a great amount of data. In order for the data derived information to provide for the characterization of a site threatened to be polluted the results of sampling have to be properly organized and processed. These problems can be effectively worked out by the management of data via GIS systems, coupled when needed with proper data processing methods such as geostatistics.

## Introduzione

Nel panorama legislativo della L.426/98 e del Programma Nazionale di Bonifica e di Ripristino Ambientale (D.M. 18 settembre 2001 n. 468), l'ICRAM, Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare, è incaricato della caratterizzazione ambientale ai fini della bonifica delle aree marine costiere incluse nelle perimetrazioni dei siti di bonifica di interesse nazionale dichiarati potenzialmente inquinati.

La pianificazione e attuazione di qualunque intervento di bonifica è un problema tutt'altro che banale che deve essere analizzato e affrontato da differenti punti di vista.

La caratterizzazione di matrici solide come il sedimento marino è infatti un fenomeno complesso, la cui completa descrizione necessiterebbe della definizione in ogni punto del dominio di interesse dei numerosi parametri. A complicare maggiormente il problema della caratterizzazione intervengono evidenti ragioni di ordine sia pratico che economico, nonché politiche, legate principalmente alle tecnologie, ai tempi di realizzazione del campionamento e al budget disponibili.

È dunque necessario definire una procedura attraverso cui i dati della caratterizzazione siano opportunamente organizzati, elaborati e visualizzati.

Quanto di seguito descritto rappresenta l'iter metodologico seguito dall'ICRAM.

## **Procedimento di elaborazione e rappresentazione dei risultati della caratterizzazione**

Il procedimento proposto è costituito in sostanza da tre fasi:

- Organizzazione e pretrattamento dei dati;
- Elaborazione dei dati;
- Gestione e rappresentazione dei risultati della caratterizzazione e delle elaborazioni, mediante sistemi GIS.

### Organizzazione e trattamento dei dati

I risultati della caratterizzazione sono costituiti dalle misure, eseguite su ogni campione, di parametri chimico-fisici (i.e. pH, Potenziale redox, frazioni granulometriche, concentrazioni di metalli pesanti, idrocarburi, pesticidi, diossine e furani ecc.), microbiologici (i.e. concentrazioni di streptococchi, enterovirus, escherichia coli, ecc.) ed ecotossicologici (valutazioni sulla biodisponibilità delle sostanze inquinanti). A queste possono poi aggiungersi i risultati di indagini di vario tipo volte ad individuare le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in esame, talvolta utili per definire l'estensione effettiva dello spazio interessato dall'eventuale contaminazione.

Il processo di organizzazione e pretrattamento, consiste essenzialmente nella verifica, validazione e formattazione del dato e rappresenta certamente una fase di fondamentale importanza nell'iter metodologico che conduce alla comprensione dello stato della qualità ambientale dell'area di indagine.

Affinché i dati raccolti possano essere elaborati è infatti necessario che questi siano posti in formato digitale e quindi organizzati in modo sistematico ed organico in un database. Le specifiche di restituzione del dato proposte da ICRAM prevedono che, per ogni campione, oltre ai risultati analitici, devono essere definiti i campi che specifichino l'ubicazione della stazione di prelievo, la profondità del campione e un codice alfanumerico che consenta di identificare il campione in modo univoco.

Non sempre però il processo di organizzazione del dato è di immediata realizzazione, il più delle volte infatti questo si manifesta come un compito oneroso in termini di tempo: il passaggio dal formato cartaceo al digitale, l'organizzazione di un database ben strutturato all'interno del quale sia possibile sistemare i dati in maniera organica, sono solo alcune delle problematiche che si presentano allorché una campagna di indagine ambientale è conclusa.

Una volta creato il database è poi opportuno controllare la correttezza dei dati inseriti, onde evitare di inficiare la bontà delle successive elaborazioni. Tali controlli devono comprendere la verifica della rispondenza dell'ubicazione delle stazioni di prelievo, con quanto previsto dal piano operativo di campionamento ICRAM, che stabilisce numero, ubicazione, profondità, e spessore dei prelievi. È necessario quindi verificare l'entità degli scostamenti tra l'ubicazione effettiva delle stazioni di prelievo e quella prevista dal piano di campionamento. Qualora siano stati riscontrati scostamenti sensibili occorre indagarne i motivi.

In tale ambito riveste un ruolo fondamentale il GIS che consente un'immediata resa visiva dei risultati del campionamento (fig.1).

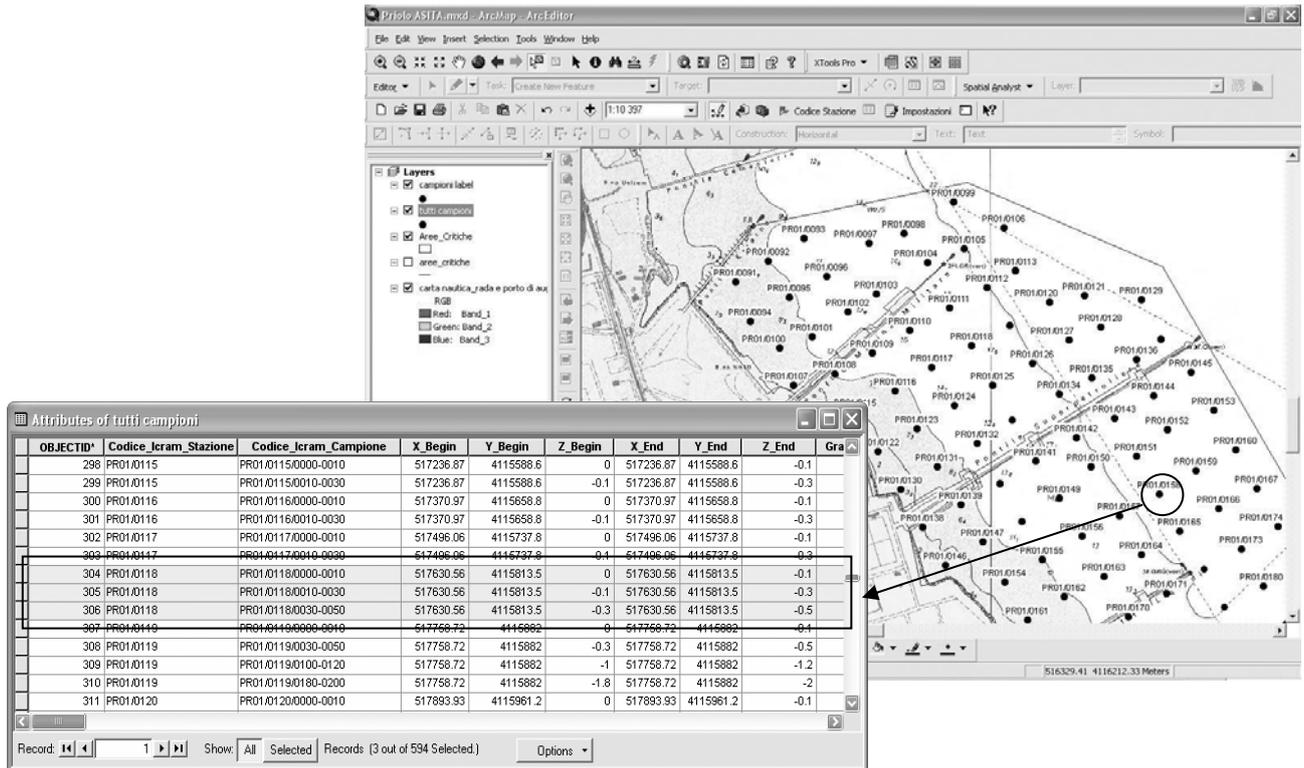


Figura 1 – Trattamento dei dati: visualizzazione in GIS delle stazioni effettive di campionamento dei sedimenti dell’area industriale di Priolo (Sito di bonifica di interesse nazionale di Priolo - Sicilia) ed organizzazione dei risultati della caratterizzazione in una attribute table

### Elaborazione dei dati

La progettazione di un intervento di bonifica su un’area per la quale sia stato di fatto riconosciuto uno stato di compromissione ambientale necessita che siano accuratamente definite le diverse destinazioni d’uso dei sedimenti, ovvero i volumi di materiale da conferire in cassa di colmata o in discarica oppure da inviare ad opportuni processi di trattamento.

In casi come quello della caratterizzazione ambientale l’informazione acquisita attraverso il campionamento, che è per sua natura di carattere discreto, deve inevitabilmente essere trattata in modo che da essa possa essere ricavata una descrizione della contaminazione continua nello spazio da caratterizzare. Per risolvere tale problematica è necessario stimare il valore del parametro di interesse, in tutti i punti in cui questo non sia noto, attraverso una opportuna modellizzazione della variabilità del fenomeno indagato entro l’area d’indagine.

L’applicazione dei metodi appena introdotti, può sintetizzarsi in tre momenti fondamentali:

- discretizzazione dello spazio da caratterizzare mediante un griglia tridimensionale a maglie regolari (fig. 2);
- modellizzazione della variabilità per il fenomeno d’interesse;
- Calcolo del valore del parametro per ogni cella della griglia, sulla base del modello precedentemente costruito.

In commercio sono disponibili diversi *software* nei quali sono implementati moduli di geostatistica. Tra questi, particolarmente utile al trattamento dei dati di contaminazione può essere *ISATIS*<sup>®</sup> della *Geovariances*, che oltre ad implementare numerosi metodi geostatistici, ha il vantaggio, rispetto ad altri *software*, di consentire il trattamento di dati tridimensionali.

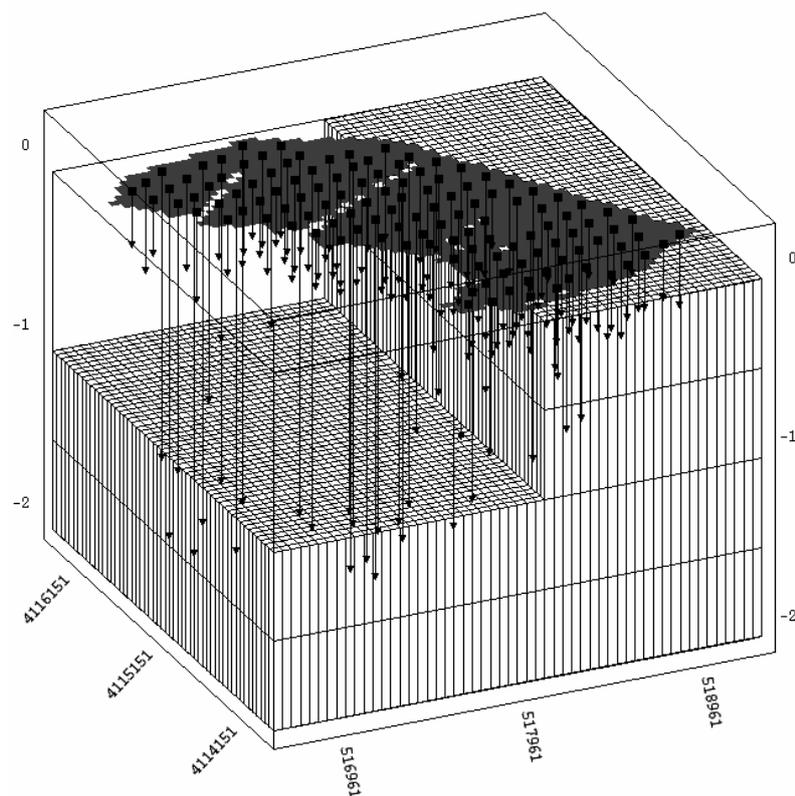


Figura 2 – Rappresentazione della griglia tridimensionale (con celle aventi dimensioni di base di 50 m x 50 m e spessore di 0.5 m) che discretizza lo spazio interessato dalla contaminazione. In figura vengono riportati i punti corrispondenti alle stazioni di campionamento con la relativa profondità di sondaggio (Priolo – Sicilia).

### Gestione e rappresentazione dei risultati della caratterizzazione e delle elaborazioni mediante sistemi GIS

I risultati dell'elaborazione geostatistica del dato, ottenuti attraverso l'impiego di *software* come ISATIS<sup>®</sup>, sono costituiti da griglie tridimensionali in cui ad ogni cella sono associati i valori stimati di ogni parametro. Nonostante ISATIS<sup>®</sup> implementi appositi moduli per la visualizzazione, i risultati sono maggiormente fruibili se importati all'interno di un GIS.

L'importazione di griglie tridimensionali in *software* per la gestione del GIS, come ARCGIS<sup>®</sup>, non è tuttavia immediata. È infatti necessario:

- Creare un *geodatabase* nel quale archiviare e organizzare le elaborazioni;
- Trasformare gli strati orizzontali della griglia tridimensionale in griglie bidimensionali;
- Importare le griglie bidimensionali in GIS come *features class* di poligoni di dimensioni pari a quelle di base della griglia.

Le potenzialità del GIS consentono di compiere analisi spaziali complesse, attraverso l'esecuzione di interrogazioni incrociate del *database*.

Ad esempio dato un parametro e stabilite per esso delle classi di valori, è possibile selezionare e visualizzare le celle appartenenti a ciascuna classe (fig. 3).

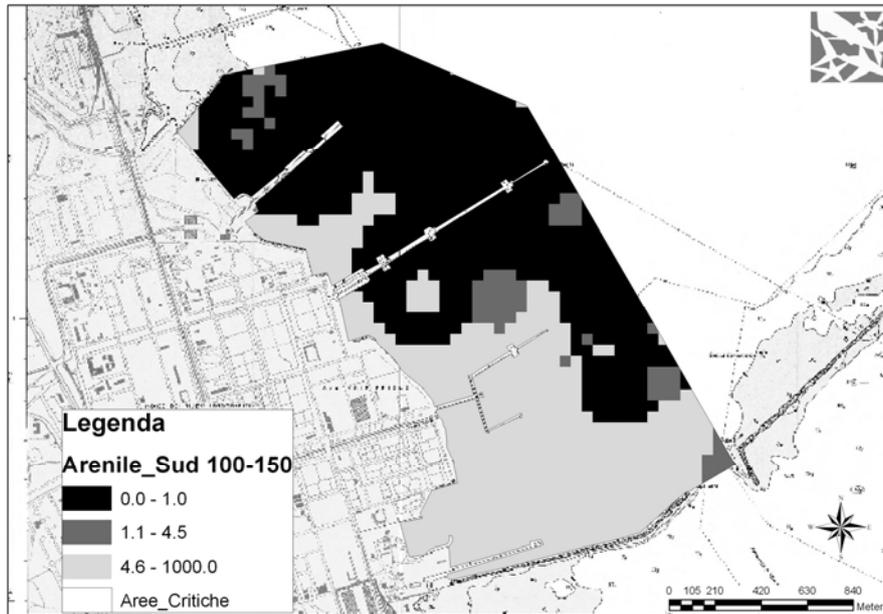


Figura 3 – Rappresentazione dei risultati delle elaborazioni: visualizzazione in GIS della concentrazione media stimata (su celle aventi dimensioni di base di 50 m x 50 m e spessore di 0.5 m) di Mercurio nello strato 100-150 cm di sedimento (Priolo – Sicilia).

L'elaborazione dei dati non costituisce tuttavia una parte imprescindibile del processo interpretativo poiché talvolta, ai fini della caratterizzazione ambientale di un sito, può essere sufficiente la rappresentazione, sempre tramite GIS, dei risultati della caratterizzazione organizzati in un apposito *geodatabase* come *feature class* di elementi puntuali. Gli strumenti grafici propri del GIS consentono infatti di visualizzare un parametro come attributo grafico di un punto (dimensione, colore etc.). ad esempio la dimensione del punto può essere resa proporzionale al valore del parametro considerato (fig. 4)

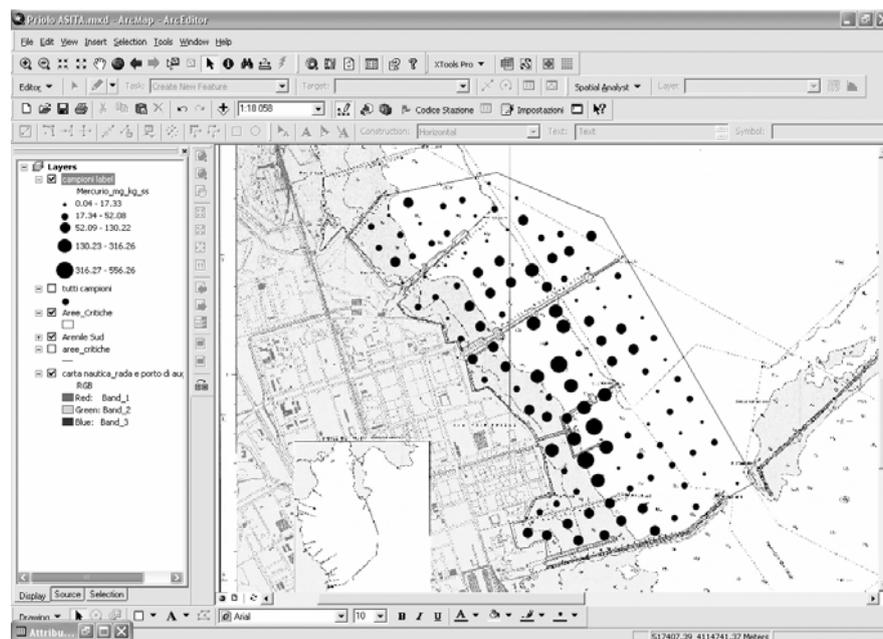


Figura 4 – Rappresentazione dei risultati della caratterizzazione: visualizzazione in GIS delle concentrazioni di Mercurio riscontrate nello strato 100-150 cm di sedimento in ogni stazione di prelievo. La dimensione del simbolo è proporzionale al valore di concentrazione - (Priolo – Sicilia).

Le operazioni sin qui descritte sono sempre affiancate da uno studio statistico di base (minimo, massimo, media, deviazione standard, matrici e nuvole di correlazione) dei risultati stessi, utile a sintetizzare le caratteristiche dei diversi parametri ambientali coinvolti

### **Conclusioni e sviluppi**

Le operazioni di importazione, elaborazione e gestione del dato necessitano ovviamente di una previa organizzazione e sistemazione in un formato opportuno che è ovviamente funzione dei criteri di implementazione del *software* utilizzato per la gestione del GIS. Inoltre, l'applicazione dei metodi geostatistici maggiormente idonei al trattamento di dati ambientali, quali ad esempio il kriging e il cokriging ordinario, richiedono un coinvolgimento attivo dell'utente essenzialmente per ciò che riguarda l'inferenza del modello di variabilità. Possibili miglioramenti nella procedura descritta potrebbero essere ottenuti dunque, in virtù di quanto detto, mediante:

- l'automazione dei processi di controllo e validazione del dato;
- la restituzione dei dati d'ingresso in un formato idoneo all'importazione in GIS;
- l'automazione del processo di elaborazione geostatistica dei dati

### Bibliografia

- Bruno R, Raspa G. (1994), *La pratica della geostatistica lineare*, Edizioni Guerini Studio, Milano
- Callerio et al., (2004), "Sistema informativo territoriale per il sito di Torviscosa: una gestione integrata dei dati ambientali", *Siti Contaminati*,4: 80-97
- Clark I, (2001), *Practical Geostatistics*,
- Ka-Fai Poon et al., (2000), "Geostatistical modelling of the spatial distribution of sewage pollution in coastal sediments", *Wat. Res, Vol. 34, No. 1: 99-108*
- Sesana et al., (2005), "Procedure qualità, controllo ed interpretazione dei dati analitici" *Gestione di siti contaminati*, Edizioni Osservatorio Siti Contaminati, Torino