

# IMPIEGO DI STRUMENTI GIS A SUPPORTO DELLA CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI BONIFICA NAZIONALI

Maria Elena PICCIONE, Lorenzo ROSSI, Giuseppe TRINCHERA, Carlo INNOCENTI, Andrea SALMERI, Alessandro NAVACH

ICRAM (Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e Tecnologica Applicata al Mare). Via di Casotti, 300 00166 Roma.  
Tel+39 0661570490, e-mail [e.piccione@icram.org](mailto:e.piccione@icram.org)

## Riassunto

L'obiettivo di questo lavoro è fornire un esempio dell'iter procedurale e metodologico utilizzato nel contesto delle attività che interessano la bonifica dei siti contaminati, dalla raccolta ed analisi critica dei dati pregressi, fino all'elaborazione ed alla restituzione dei risultati ottenuti. Sono altresì poste in evidenza le problematiche e le soluzioni adottate durante tutto il processo progettuale, quali l'archiviazione in *geodatabase* delle informazioni raccolte (cartografiche, chimico-fisiche, ambientali...), l'analisi e la gestione dei risultati derivanti dalla caratterizzazione dei sedimenti, le metodologie adottate per la pianificazione degli interventi da attuare nei siti di bonifica.

Gli strumenti e le procedure adottati fino ad oggi si sono dimostrati estremamente efficaci nella gestione del dato disponibile e come supporto per tutte le attività progettuali, durante le quali le competenze degli esperti GIS e dei progettisti si integrano al fine di una corretta interpretazione dei risultati ottenuti dall'analisi dei singoli dati.

## Abstract

The objective of this article is to give an example of the procedural and methodological paths used in the activities related to polluted sites reclamation, from data collection and critical hindcasting till elaboration and restitution of obtained results.

Will also be explain how we resolve all the problematics encountered in the whole process, like data collection in geodatabase (cartographics, chemical-physical analysis, etc), the analysis and the management of results data.

Tools and processes adopted until today demonstrate that GIS results extremely effective in the management of available data and as support for all the planning.

## Introduzione

La bonifica dei siti contaminati è un argomento di estrema complessità a causa della quantità di interessi economici, politici e sociali coinvolti. Negli ultimi anni è cresciuta la sensibilità nei confronti del danno ambientale e di quello socio-economico ad esso correlato, dovuto alla presenza di siti inquinati che comportano rischi potenziali significativi, non solo per l'ambiente, ma anche per la salute umana, a causa dell'immissione di sostanze pericolose nelle principali matrici ambientali (suolo, sottosuolo, acque superficiali, o sotterranee).

La necessità di riportare tali aree a condizioni accettabili per il riutilizzo ha portato il Legislatore a produrre una serie di norme quadro cui riferirsi. La L.426/98 ha individuato alcune aree dichiarandole "Siti di Interesse Nazionale"; il successivo D.M.471/99 ha determinato i criteri, le procedure e le modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale di questi siti (ai sensi dell'art. 17 del Dgl 22/97). Nel 2001, con l'emanazione del D.M. 468/01, il Governo istituisce il "Programma Nazionale di Bonifica e Ripristino Ambientale dei Siti Inquinati", nel quale

ICRAM è incaricato della caratterizzazione ambientale ai fini della bonifica delle aree marino-costiere incluse nella perimetrazione degli stessi (Figura 1).

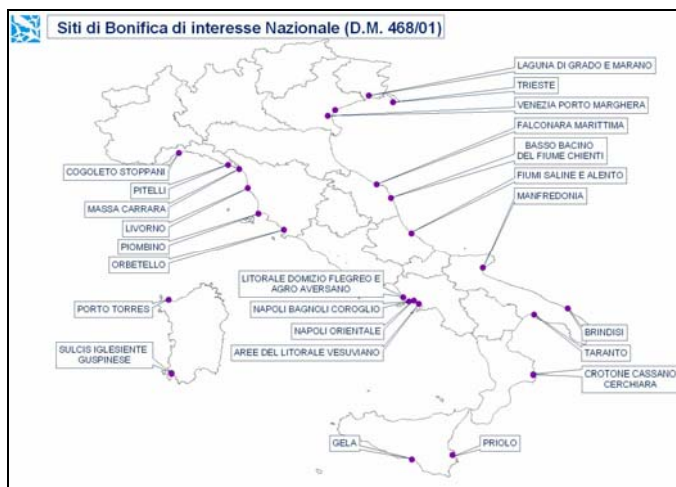


Figura 1 – Localizzazione dei 24 Siti di Bonifica d’Interesse Nazionale.

La complessità delle problematiche derivanti dalle differenti caratteristiche geografiche, morfologiche, geologiche, fisico – chimiche, oltre che dai tanti Enti coinvolti nella gestione delle aree, fa sì che ciascun Sito abbia una storia, delle dinamiche ed un’evoluzione proprie. Ci si trova, di conseguenza, ad interpretare e gestire una serie d’informazioni, che data la loro eterogeneità (immagini raster e/o vettoriali, dati analitici alfanumerici, ecc.), risultano difficilmente confrontabili.

Al fine quindi di armonizzare, rendere congruenti tra loro e, nello stesso tempo, processare i dati raccolti, ICRAM ha posto in essere un iter procedurale e metodologico ed una serie di protocolli di campionamento e restituzione dati che garantiscono la corretta acquisizione, standardizzazione e gestione delle informazioni.

La metodologia di lavoro sviluppata, può essere schematizzata come segue: 1. raccolta delle informazioni pregresse 2. interpretazione ed analisi critica delle stesse 3. sviluppo di un progetto di caratterizzazione ambientale 4. redazione di un progetto di messa in sicurezza e/o bonifica ambientale 5. pianificazione degli interventi e ripristino ambientale.

In figura 2 si riporta lo schema di tali attività.

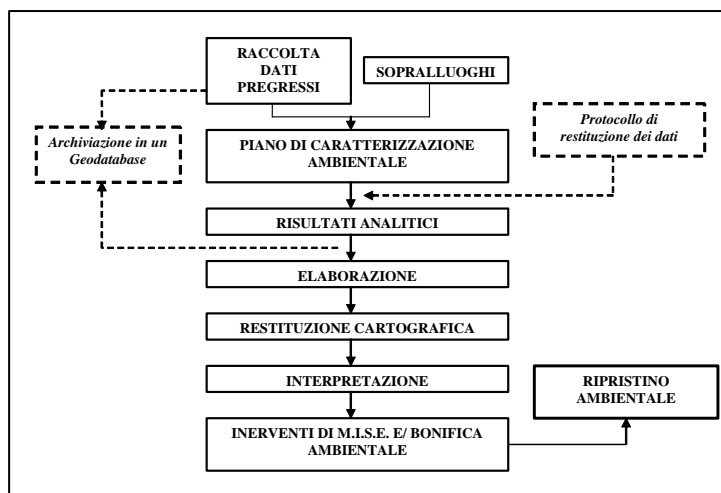


Figura 2 – Schema dell’iter procedurale e metodologico adottato

Ciascuna delle attività sopra elencate richiede l'impiego di strumenti GIS, sia per la semplice raccolta ed archiviazione dei dati pregressi, sia per la gestione ed elaborazione dei dati derivanti dalle attività di caratterizzazione. A tutto ciò si affianca il vantaggio di poter visualizzare, interrogare ed elaborare le informazioni geografiche, siano esse semplici cartografie di riferimento che elaborazioni spaziali dei singoli dati.

## **Procedure e metodologie**

### Acquisizione dati pregressi e cartografia di riferimento

Una delle problematiche che emerge durante la fase di raccolta delle informazioni pregresse è l'elevata eterogeneità dei dati disponibili per i siti oggetto di indagine. All'interno delle stesse aree, nel corso degli anni, sono state effettuate diverse tipologie di studi e analisi che, provenendo da fonti differenti, raramente seguono un medesimo standard. I dati disponibili sono immagini di tipo *raster*, quali ad esempio Carte Tecniche Regionali, carte nautiche, ortofoto o rilievi satellitari; file vettoriali, quali le perimetrazioni dei siti in formato *shapefile* e le planimetrie in formato *CAD*; dati alfanumerici derivanti dalle analisi e dai controlli effettuati sulle matrici ambientali; dati acquisiti durante i sopralluoghi. Utilizzando le funzionalità proprie dei software GIS e sviluppando semplici programmi applicativi, la totalità delle informazioni, indipendentemente dal formato originario (cartaceo o digitale), è resa confrontabile ed elaborata all'interno di un medesimo contesto territoriale.

Affinché ciò sia possibile si procede ad esprimere tutti i valori analitici nelle medesime unità di misura, a georeferire nello stesso *Datum* tutte le planimetrie, i rilievi e la cartografia esistente ed a georeferenziare tutti quei dati privi di informazioni geografiche associate. Il risultato di tali elaborazioni è inserito in un *geodatabase* per essere immediatamente visualizzato e contestualizzato nel GIS. La gestione delle informazioni all'interno di un *geodatabase* consente di archiviare i dati dividendoli in differenti *dataset* per poterli gestire al meglio mantenendo le proprie differenze territoriali.

Al fine di non perdere traccia delle modifiche effettuate sui file adoperati e per agevolare lo scambio delle informazioni viene creato e successivamente aggiornato un *metadata* associato ad ogni file. In esso sono riportate tutte le informazioni relative alla provenienza, alla storia ed alle modifiche apportate al file.

Al termine di questo processo diventa quindi possibile visualizzare, correlare ed analizzare tutti i dati all'interno dei medesimi progetti GIS. Si possono così produrre apposite mappe tematiche utili ai progettisti per derivare e formulare le considerazioni circa lo stato chimico, fisico e biologico del sito indagato.

### Piano di caratterizzazione ambientale e gestione dei dati acquisiti

I dati pregressi, integrati dai dati raccolti durante i sopralluoghi, unitamente alla cartografia di riferimento, forniscono una valida base su cui avviare la progettazione di un'adeguata strategia di campionamento, volta alla caratterizzazione del sito in esame. La definizione di un Piano di Caratterizzazione è mirata alla determinazione della distribuzione dei contaminanti nelle diverse matrici delle aree marine indagate, in rapporto alle caratteristiche specifiche dei siti in esame. Durante le fasi di redazione del piano, il compito svolto dall'esperto GIS consiste, innanzi tutto, nel rendere fruibili e facilmente leggibili tutte le informazioni richieste dalle altre competenze professionali e scientifiche coinvolte. Solo grazie ad un'attenta analisi critica dei dati pregressi e di eventuali indagini integrative svolte negli anni, è infatti possibile ottimizzare il processo di caratterizzazione ambientale e la definizione di un'idonea strategia di campionamento che sia un giusto compromesso tra l'esigenza di ottenere il maggior numero d'informazioni possibili e ottimizzare i costi ed i tempi di realizzazione degli interventi. La possibilità di poter associare le informazioni analitiche ottenute ad un ben definito contesto territoriale, in cui siano facilmente

individuabili aree industriali, scarichi di reflui civili e non, attività di mitilicoltura, ecc..., consente di calibrare al meglio numero e distribuzione spaziale delle stazioni di campionamento da effettuare. Tali informazioni sono completate da rilievi sulla geomorfologia e la natura del fondale, effettuati mediante l'impiego di strumenti quali il *Multibeam* ed il *Side Scan Sonar*. Tutte le informazioni ottenute permettono, inoltre, al team di progettisti di definire con buona precisione quali sono le aree campionabili ed escludere da queste i fondali duri, le praterie di *Posidonia Oceanica*, ecc.. Mediante le funzionalità di Arcgis, vengono distribuite sulla cartografia di riferimento le stazioni di campionamento, secondo una strategia di maglie di diversa dimensione (150x150 m lungo la fascia strettamente costiera e nelle aree critiche, 450x450 m nelle zone che richiedono una caratterizzazione meno dettagliata) e transetti ad interasse variabile, a completamento delle aree di maglia (Figura 3).

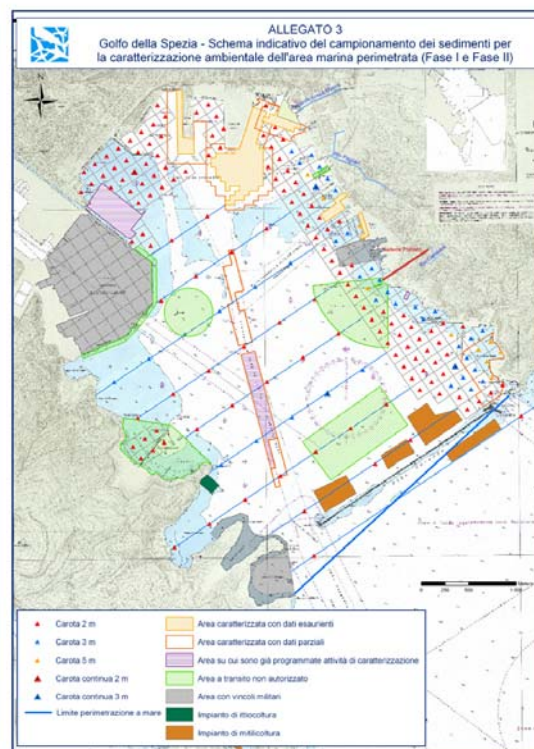


Figura 3 – Schema indicativo di campionamento dei sedimenti dell'area perimetrata del Golfo di Pitelli.

Dopo aver posizionato le stazioni di campionamento ed avergli assegnato un codice alfanumerico univoco, la tabella degli attributi viene “popolata” con le coordinate espresse sia in formato cartografico (proiezione UTM), sia in formato geografico (gradi decimali). La tabella stessa è successivamente esportata in un file *Excel*, utile per la definizione del piano operativo di campionamento. Per garantire un corretto posizionamento delle stazioni in fase di campionamento, tutte le coordinate scaricate da GIS sono implementate all'interno dei programmi di navigazione in dotazione della strumentazione utilizzata a bordo. Durante le attività di campo, vengono salvate le coordinate reali delle stazioni, le quali, insieme ai risultati analitici derivanti dalle successive analisi in laboratorio, saranno inserite in un file *Access* predefinito (“Protocollo di restituzione dati”). Per non incorrere nelle medesime difficoltà incontrate in fase di acquisizione dei dati pregressi, l'ICRAM ha progettato questo specifico protocollo imponendo delle regole nella compilazione dei singoli campi (Figura 4).

Cod_Stazione	Cod_Campione	Lat_Gradi	Lat_Primi	Long_Gradi	Long_Primi	N	E	Prof_m	Cromo_mg_kg_ss	...
TA01/0001	TA01/0001/SC0000-0020	39	06.8761	17	06.6230	4331543	682808	11.2	4.6	...
TA01/0001	TA01/0001/SC0030-0050	39	06.8761	17	06.6230	4331543	682808	11.2	4.6	...
TA01/0001	TA01/0001/SC0100-0120	39	06.8761	17	06.6230	4331543	682808	11.2	4.6	...
TA01/0001	TA01/0001/SC0180-0200	39	06.8761	17	06.6230	4331543	682808	11.2	4.6	...

Figura 4 – Esempio di formattazione delle informazioni richieste.

Coloro i quali compileranno il file si dovranno attenere alle impostazioni indicate da ICRAM: il nome del campione raccolto deve riportare sempre la sigla del sito, il numero progressivo della campagna, il codice numerico della stazione ed il livello campionato. Le coordinate reali delle stazioni devono essere espresse sia in formato geografico che cartografico.

Mentre la prima parte della tabella è dedicata alle informazioni raccolte durante la fase di campionamento, la seconda parte contiene tutti i risultati analitici. Il file *Access* definitivo è successivamente importato all'interno di un *geodatabase* di *Arcgis*, per la visualizzazione, interpretazione e gestione dei dati.

#### Restituzione cartografica, interpretazione ed elaborazione delle informazioni raccolte.

I risultati della caratterizzazione, opportunamente archiviati all'interno di un *geodatabase* possono essere caricati in un progetto GIS, rappresentati ed elaborati per ottenere un quadro preliminare della contaminazione potenziale.

Tutti i dati legati alle stazioni di campionamento sono rappresentati, utilizzando un'ideale simbologia (punti di colore e dimensioni differenti) esemplificativa dei valori dei parametri analizzati sulla totalità degli strati campionati. Su tutti i dati è possibile effettuare sia semplici interrogazioni, sia applicare "query" più o meno complesse, per estrarre ad esempio, dati che rispondano a specifiche caratteristiche (livello campionato, valori analitici che superano determinati limiti, ...).

Al fine di facilitare lo studio e la valutazione dei dati, sono stampate mappe tematiche riassuntive per ciascun analita riferito al livello analizzato. Tali carte sono un notevole supporto per le attività dei ricercatori esperti nell'interpretazione del dato.

Poiché è necessario giungere ad una stima della contaminazione nello spazio, le elaborazioni GIS sono integrate da analisi spaziali rese con specifici software di elaborazione geostatistica. In tal modo dalle semplici visualizzazioni puntuali, mediante opportuni studi ed elaborazioni, è possibile giungere ad una stima della contaminazione, restituita come *grid* tridimensionali.

I *grid* così ottenuti, sono nuovamente importati in *Arcgis*, dove vengono opportunamente visualizzati ed interpretati. A conclusione di tale iter metodologico si ottengono mappe tematiche sintetiche della distribuzione della contaminazione per tutti i livelli analizzati (Figura 5).

La cartografia ottenuta permette di delineare un quadro ampio e dettagliato dello status delle aree indagate. I ricercatori esperti nell'interpretazione del dato, partendo dalla fotografia della contaminazione dell'intero volume di sedimento contaminato, possono ipotizzare differenti strategie d'intervento mirate alla messa in sicurezza ed alla bonifica dei siti contaminati.

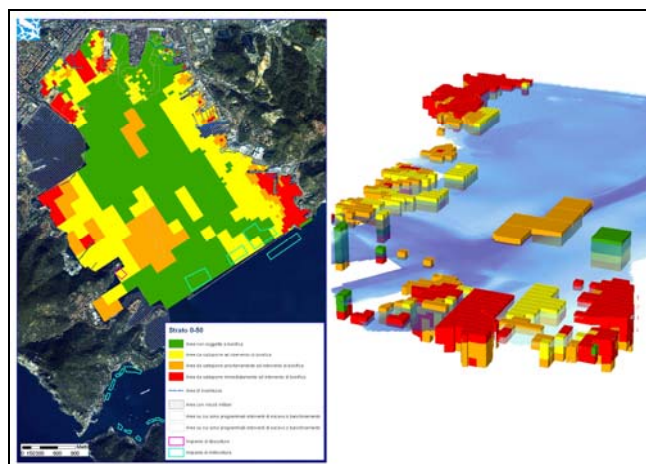


Figura 5 – Rappresentazione in 2D e 3D dei volumi di sedimento contaminato rilevati nel Golfo di Pitelli. La colorazione è funzione del livello di contaminazione.

### Conclusioni e prospettive

Le esperienze condotte fino ad oggi hanno dimostrato l'importanza dell'impiego degli strumenti GIS a supporto delle attività di caratterizzazione e bonifica, che si esplica attraverso una gestione efficiente delle informazioni territoriali raccolte. La produzione di carte tematiche e la possibilità di interrogare e gestire i dati nel loro contesto spaziale consente di fornire ai diversi interlocutori, Ricercatori e Pubblica Amministrazione, un valido strumento d'interpretazione dei dati, nonché un efficiente supporto alle attività decisionali.

Il contributo fornito dall'impiego degli strumenti GIS non si limita pertanto alla realizzazione di mappe tematiche più o meno complesse, ma consente di veicolare informazioni diverse tra soggetti diversi, per competenze o interessi, e tra questi ed il territorio in esame.

Alla luce delle esperienze acquisite, l'iter procedurale adottato fino ad oggi si è dimostrato efficace sia per la gestione ed elaborazione del dato, che per la trasmissione dei risultati ai diversi soggetti coinvolti. Si precisa inoltre che, per la natura stessa del lavoro svolto, le soluzioni adottate possono essere ulteriormente migliorate ed adattate alle specifiche problematiche che ciascun sito di volta in volta presenta.

### **Riferimenti bibliografici**

ICRAM (2004), *Piano di caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera prospiciente il sito di interesse nazionale di Pitelli CII-Pr-LI-P-04.04*, 29 pp.

ICRAM (2005), *Progetto preliminare di bonifica dell'area marina inclusa nella perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale di Pitelli BoI-Pr-LI-P-02.16*, 207 pp.

Michael Zeiler. (1999), *Modelling Our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design*. ESRI Press. Redlands, California USA, 199 pp.

David K. Arctur, Michael Zeiler. (2004). *Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling*. Redlands, California USA, 408 pp.