

Cartografia geo-ambientale come strumento d'ausilio alla modellistica delle acque sotterranee

Giulio Barbieri, Monica Casu

Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione Geologia Applicata e Geofisica applicata, Piazza D'Armi, 09127 Cagliari, tel. +39 070.675 5168, fax +39 070 275281, barbieri@unica.it.

Riassunto

Lo studio e la modellazione matematica del sistema idrogeologico dell'area industriale di Porto Torres (SS) è stato condotto nella sua prima fase mediante la raccolta dei dati ambientali di interesse idrogeologico e successivamente tramite la realizzazione di un sistema informativo del bacino idrogeologico di studio che, oltre ad essere d'ausilio per la ricostruzione del modello concettuale, ha permesso di predisporre i dati di *input* per la successiva fase di modellazione idrogeologica da implementare tramite *software* specialistico.

Il *geodatabase* costituito dalla cartografia di base e dalla realizzazione di alcuni strati informativi (come l'idrografia, la geologia, lo schema geologico-strutturale, i dati stratigrafici, le sorgenti etc.) è stato di ausilio alla comprensione del modello idrogeologico concettuale. Inoltre, gli strumenti *GIS* sono stati utilizzati per il calcolo dei parametri di interesse idrogeologico di *input* al modello di flusso, come l'interpolazione dei dati di precipitazione e il calcolo dell'infiltrazione efficace nelle diverse aree del bacino di studio. Le informazioni geo-stratigrafiche georeferenziate e i dati idrogeologici sono state infine l'*input* per il modello numerico di flusso delle acque sotterranee.

Abstract

The Porto Torres industrial area (SS, Sardinia, Italy) has been studied and modelled as to perform the hydrogeological conceptual model and to simulate the aquifer behavior. To reach these purposes environmental, hydrological and geological data of the study area has been collected and a Geographic Information System has been developed.

The geodatabase has been developed starting from the topographic and geological datasets (given by the Regional Administration of Sardinia) and creating different others, like surface water, lithologic and springs datasets. In this way, the GIS that has been performed helps in managing spatial environmental data and in developing hydrogeological conceptual model of the study area. Moreover, georeferenced lithologic information has been used to create a three-dimensional scheme of aquifer system and to determine the boundaries of the hydrogeological domain to be modeled. Finally, hydrogeological data (for example effective infiltration) needed for groundwater model implementation has been computed in a GIS environment, allowing to be easily introduced in the mathematical model.

Introduzione

L'obiettivo del presente lavoro consiste nello studio e nella modellazione matematica del sistema idrogeologico dell'area industriale di Porto Torres (SS), finalizzati ad individuare i potenziali percorsi dei contaminanti nel sottosuolo dell'area di studio, a partire dai possibili centri di pericolo. L'area di studio è localizzata nella porzione occidentale dell'agglomerato industriale di Porto Torres (vedi Figura 1).

L'intera area industriale di Porto Torres è stata oggetto di caratterizzazione ambientale a seguito dei fenomeni di contaminazione di origine industriale che hanno interessato il sottosuolo.

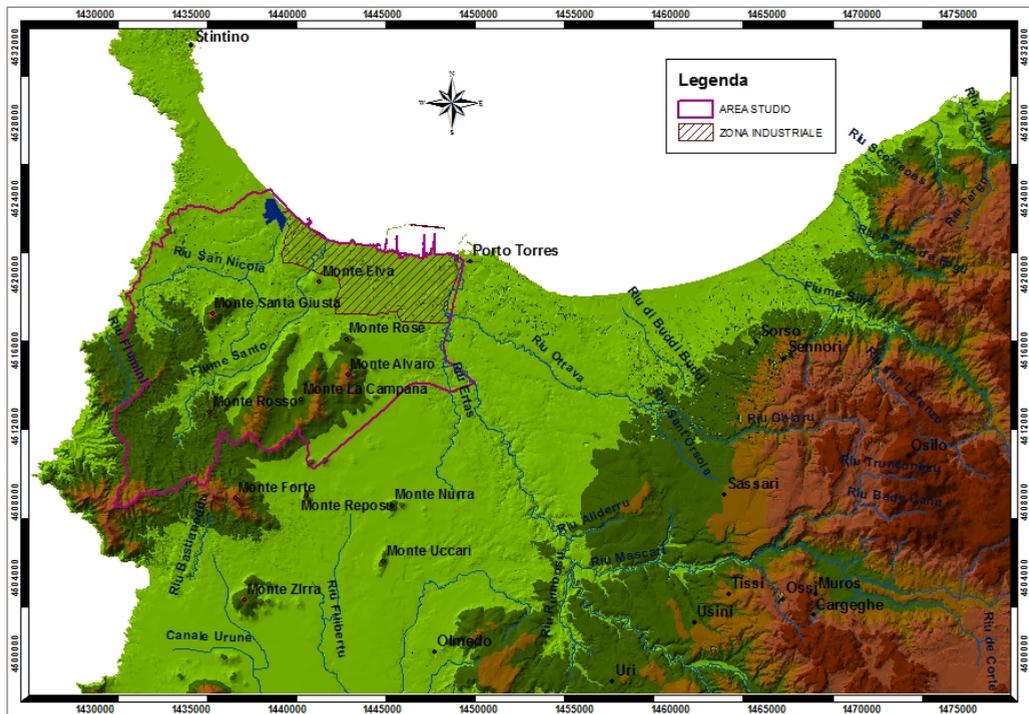


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area oggetto di studio.

La caratterizzazione e la modellazione idrogeologica dell'area risulta estremamente difficoltosa principalmente per via della complessità del sistema acquifero, costituito da un mezzo carsico.

La comprensione del modello concettuale idrogeologico di un sistema carsico risulta particolarmente complessa per via della discontinuità e anisotropia delle proprietà idrauliche del mezzo acquifero, in cui la circolazione idrica avviene attraverso cavità carsiche e/o fratture e faglie e in cui anche i meccanismi di ricarica risultano variabili localmente nel bacino e spesso di difficile valutazione.

Nel presente lavoro sono descritte le elaborazioni GIS che hanno contribuito alla comprensione del modello concettuale idrogeologico e alla predisposizione dei dati in input al modello matematico di flusso, effettuate mediante il software *ArcGis 9.2* della *ESRI*.

GIS e modello concettuale idrogeologico

La prima fase dello studio è consistita nella raccolta di dati, di elaborati cartografici e di tutte le informazioni utili per la comprensione del modello concettuale idrogeologico e per la successiva modellizzazione dell'acquifero.

Il primo *dataset* realizzato è stato quello topografico, *input* fondamentale per la modellistica idrogeologica e primariamente necessario per l'elaborazione di vari livelli informativi, come quelli morfometrico e idrografico.

Il *Data Base* topografico di riferimento è il *DB 10k*, realizzato dalla Regione Autonoma della Sardegna in scala 1:10.000 e disponibile in formato *shape*. A partire dall'informazione altimetrica contenuta nel *DB 10k*, è stato realizzato il *Digital Terrain Model (DTM)*, in primo luogo mediante la creazione di un *TIN (Triangular Interpolated Network)* e successivamente mediante la verifica logica e topologica dei dati, per pervenire infine al *DTM* in formato *TIN* e *raster*.

Nello studio di un acquifero carsico si rende necessario acquisire anche dati e informazioni a scala di bacino, in particolar modo i fattori di caratterizzazione idrogeologica e geomorfologica del mezzo carsico, la cui rappresentazione in ambiente GIS è di ausilio alla comprensione della struttura dell'acquifero. Pertanto, oltre al *dataset* relativo alla geologia del sito, disponibile nel SITR della Regione Autonoma della Sardegna (2008), si sono definiti ulteriori livelli informativi comprendenti sia gli elementi connessi alla morfologia superficiale del bacino sia gli elementi rappresentativi della circolazione idrica profonda: inghiottitoi e pozzi carsici, affioramenti rocciosi con microforme assorbenti, sorgenti, corsi d'acqua superficiali, faglie e fratture (vedi Figura 2). La gestione integrata di tali elementi georeferenziati e delle informazioni annesse, contenute nelle tabelle associate, ha facilitato la comprensione della circolazione idrica nell'acquifero.

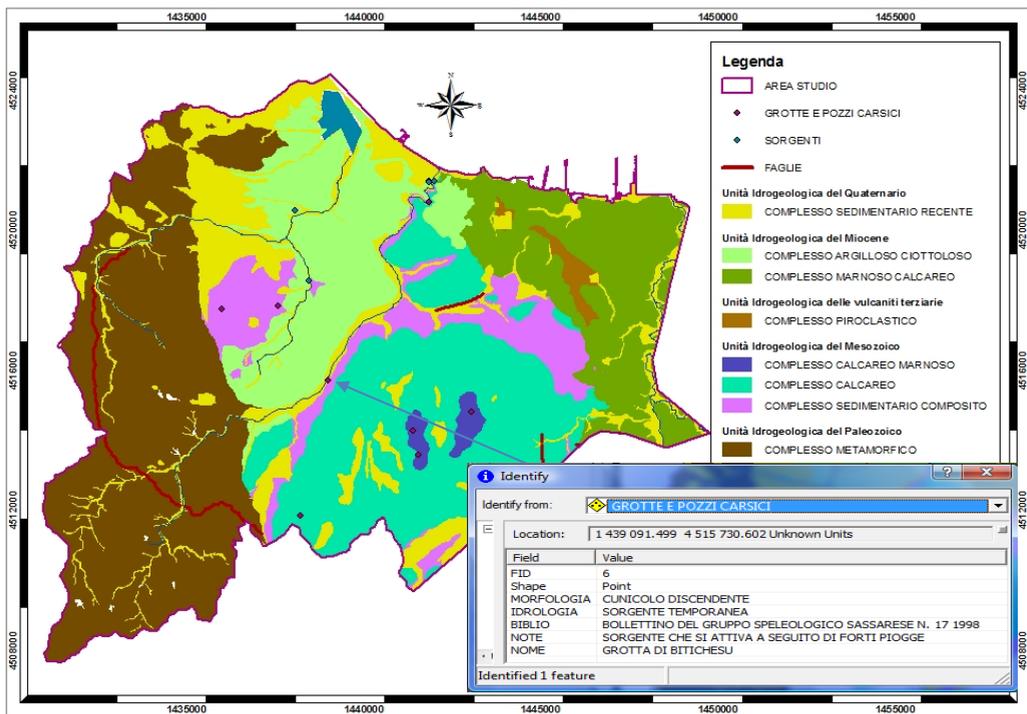


Figura 2 – Unità idrogeologiche
(da "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000" - SITR Regione Sardegna).

Un'altra funzionalità del GIS sfruttata per l'implementazione del modello concettuale è stata quella della catalogazione dei dati relativi alle indagini di campo che, oltre a permettere successive analisi spaziali finalizzate a rappresentare la distribuzione di eventuali parametri di interesse, ha consentito anche di organizzare i dati richiesti dalle successive elaborazioni (con software specialistici interfacciabili col GIS) in tabelle aventi un formato predefinito di acquisizione.

La tipologia dei dati catalogati nel *geodatabase* ha compreso in particolare le informazioni litologiche e piezometriche relative a sondaggi, piezometri e pozzi eseguiti in tempi e per finalità differenti nel bacino idrogeologico in esame.

I dati litologici inseriti nel *geodatabase* sono stati introdotti secondo un criterio che potesse permettere una semplice esportazioni degli stessi nel formato richiesto dal codice *GMS* per l'inserimento dei dati litostratigrafici, in quanto il codice *GMS*, mediante l'applicativo *borehole*,

permette una semplice visualizzazione tridimensionale delle formazioni idrogeologiche semplificandone così la ricostruzione geometrica schematica (vedi Figura 3).

Il modulo GIS di GMS permette inoltre di importare direttamente *fileshape* puntuali, lineari e areali da poter convertire in *feature object* (come pozzi, fiumi, aree di ricarica ecc) nel modello concettuale idrogeologico che in GMS prelude all'implementazione del modello numerico di flusso idrico sotterraneo. I *fileshape* importati saranno corredati degli attributi contenuti nelle tabelle associate, come livelli piezometrici associati agli elementi puntuali rappresentanti pozzi e piezometri, quote topografiche e livelli idrici associati agli elementi lineari rappresentanti i corsi d'acqua ecc. Tuttavia, la finalità del presente studio è realizzare un modello numerico di flusso dell'acquifero carsico, difficilmente implementabile mediante GMS per via del fatto che il codice idrogeologico supportato è costituito da MODFLOW, largamente utilizzato per la modellizzazione degli acquiferi porosi, ma di difficile applicazione per la simulazione del comportamento di acquiferi permeabili per fatturazione e/o carsismo. Conseguentemente, l'utilizzo dell'interfaccia GMS è stata finalizzata esclusivamente alla realizzazione di schemi geolitologici del sottosuolo, per via delle potenzialità nella gestione e visualizzazione dei dati stratigrafici del succitato modulo *borehole*, lasciando ad un altro codice numerico, più specifico per il caso in esame, la successiva modellizzazione idrogeologica dell'acquifero.

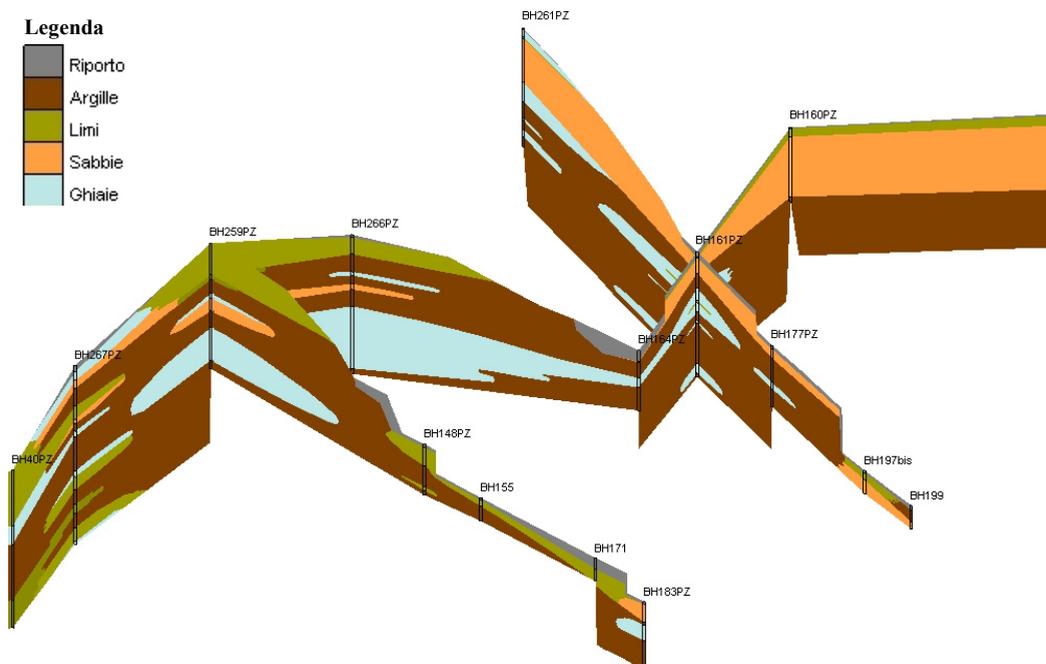


Figura 3 – Particolare dello schema tridimensionale relativo alle coperture mioceniche localizzate nella porzione occidentale dell'area industriale, realizzato mediante il software GMS a partire dai dati stratigrafici dei sondaggi.

Elaborazioni relative ai parametri idrologici

Sono stati raccolti i dati idrologici necessari per stimare l'infiltrazione efficace nell'area di studio, la cui conoscenza risulta fondamentale per la simulazione del comportamento dell'acquifero. I dati climatici utilizzati sono quelli del SISS (Nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna). L'obiettivo dell'analisi climatica è stato quello di interpolare i dati termo-pluviometrici presenti, relativi alle stazioni meteorologiche, su tutta l'area di interesse.

Il primo parametro di interesse da stimare per l'area è stato quello delle precipitazioni, per il quale si sono analizzati i dati delle stazioni di Olmedo, Bancali (ex Macciadosa), Stintino e Sassari.

La procedura utilizzata, basata sulla tecnica di interpolazione dei dati disponibili in ambiente *GIS*, ha permesso di ottenere una copertura in formato *raster* della media del parametro pluviometrico per l'intera area di interesse. Il dato pluviometrico corrispondente alla media annuale di precipitazione, disponibile per le 4 stazioni succitate, è stato valutato nell'area di studio utilizzando diverse procedure di interpolazione *raster*: *Inverse Distance Weighted (IDW)*, *Spline*, *Kriging* e, a partire dai risultati ottenuti, si sono estratti il valore medio, minimo e massimo calcolati sull'intera area, che sono stati confrontati per definire il metodo interpolativo più adatto. Il risultato dell'interpolazione è un *raster* con celle di lato 10 m ad ognuna delle quali è stato attribuito un valore di altezza di pioggia media annua. La stessa procedura di interpolazione è stata utilizzata per il dato termometrico, avendo però come dati a disposizione un numero di stazioni minore, ovvero esclusivamente quelle dell'Asinara e di Sassari.

A partire dall'informazione pluviometrica e termometrica in formato *raster*, è stata successivamente calcolata l'evapotraspirazione reale mediante la formula di *Turc*.

$$E_r = P/[0.9 + (P^2/L^2)]^{1/2}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Dove E_r è l'evapotraspirazione reale, P la precipitazione media annua, L rappresenta il potere evaporante dell'atmosfera e T la temperatura media annua.

Il calcolo dell'evapotraspirazione reale è stato condotto in ambiente *GIS* convertendo prima le equazioni per il calcolo in funzioni di *Map Algebra* ed elaborando quindi un nuovo *raster* a partire da quelli in input delle precipitazioni e delle temperature mediante una procedura di *overlay mapping*.

A partire da questi dati, mediante procedure analoghe, si può determinare la precipitazione efficace per l'area (data dalla differenza tra precipitazione e evapotraspirazione reale precedentemente calcolate), da cui, mediante l'utilizzo dei coefficienti di infiltrazione presunta disponibili da letteratura per le formazioni idrogeologiche in esame, si può ottenere la valutazione dell'infiltrazione efficace e quindi del deflusso superficiale.

Supporto alla modellistica

La creazione dei diversi *dataset*, topografici, geologici e idrologici, permette di semplificare notevolmente l'imputazione dei parametri necessari alla costruzione del modello di flusso idrogeologico.

Il codice matematico utilizzato per la modellizzazione idrogeologica dell'area di studio utilizza il metodo agli elementi finiti, in cui la discretizzazione spaziale della grandezza considerata (il carico idraulico) avviene mediante la creazione di una griglia composta da elementi triangolari, per ognuno dei quali la grandezza stessa viene stimata e approssimata a seguito di calcoli iterativi. Di conseguenza, per ogni nodo della maglia devono essere definiti tutti i parametri idrogeologici necessari alla stima del carico idraulico.

Nella prima fase di implementazione del modello di flusso è necessario definire la geometria dell'acquifero mediante l'assegnazione ai nodi della maglia della quota topografica del piano campagna e di eventuali altre quote a seconda che si tratti di un modello 2D, 3D o pseudo-3D.

L'assegnazione delle quote ai nodi della maglia può essere effettuata in ambiente *GIS* a partire dai punti noti del DTM mediante operazioni di interpolazione.

Le stesse operazioni di interpolazione permettono di attribuire ai nodi ulteriori parametri richiesti per il calcolo idrologico, come le quote e i livelli dei corsi d'acqua (o di altri elementi che costituiscono le condizioni al contorno del modello idrogeologico), la conducibilità idraulica delle formazioni geologiche e l'infiltrazione efficace precedentemente calcolata.

Infine, a seguito dell'implementazione della simulazione di flusso, in fase di post-processing dei dati, è possibile utilizzare le potenzialità *GIS* per la rappresentazione cartografica dei risultati.

Conclusioni

L'utilizzo degli applicativi disponibili in ambiente *GIS* ha permesso di semplificare la comprensione del sistema idrogeologico dell'area studio e una gestione integrata dei numerosi dati relativi ai diversi livelli informativi catalogati.

L'implementazione del *GIS* ha inoltre permesso, oltre all'analisi spaziale finalizzata a rappresentare la distribuzione di eventuali parametri di interesse, l'organizzazione dei dati in tabelle aventi un formato acquisibile dai software specialistici utilizzati per le successive elaborazioni.

I dati stratigrafici contenuti nel *geodatabase* sono stati esportati in tabelle acquisibili dal software *GMS* con cui si sono realizzati schemi tridimensionali del sottosuolo atti a comprendere la geometria dell'acquifero. Inoltre, mediante tecniche di interpolazione spaziale dei dati idrologici, è stata ottenuta una copertura in formato *raster* del parametro di infiltrazione efficace per l'intera area di interesse.

La disponibilità dei diversi *dataset* topografici, geologici e idrologici permette infine di semplificare notevolmente l'implementazione del modello di flusso idrogeologico, realizzato mediante codice matematico agli elementi finiti. Infatti, mediante operazioni di interpolazione spaziale, è possibile attribuire ai nodi degli elementi finiti i valori dei vari parametri di interesse interpolati a partire dal dato in formato *raster*.

Bibliografia

Barbieri G, Caria G.L, Casu M, De Murtas N. (2008), "Assetto idrogeologico della copertura Miocenico-Quaternaria nell'area industriale di Porto Torres (Sardegna settentrionale)", poster presentato durante il 84° Congresso Nazionale – Società Geologica Italiana, Sassari, 15-17 settembre 2008

Ghiglieri G, Barbieri G, Vernier A. (2006), "Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: dall'analisi conoscitiva alle strategie di salvaguardia e tutela"

Regione Autonoma della Sardegna – Assessorato della Programmazione, Bilancio ed Assetto del Territorio (1998) – "Nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna"

Regione Autonoma della Sardegna – Servizio SAVI (2009), "POR Sardegna 2000-2006 Asse I Misura 1.7 Azione C - Interventi di indagine preliminare e realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati: aree industriali di Assemini, Sarroch, Ottana e Porto Torres"

Regione Autonoma della Sardegna – Servizio Informativo e Cartografico Regionale (2008), "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000"

Regione Autonoma della Sardegna – Servizio Informativo e Cartografico Regionale (2007), "DB10k – Data Base topografico in scala 1:10.000"