

Modelli tessiturali tridimensionali in acquiferi eterogenei

T. BONOMI (*), P. CANEPA (*) & F. DEL ROSSO (*)

RIASSUNTO

La metodologia proposta riguarda la ricostruzione quantitativa dettagliata delle caratteristiche tessiturali del sottosuolo di aree di pianura. Il punto centrale dell'approccio proposto è l'organizzazione, la georeferenziazione e la codifica dei dati stratigrafici dei pozzi per acqua presenti sul territorio. In un database apposito, TANGRAM, il dato stratigrafico è codificato in modo da assegnare ad ogni livello dei pozzi un valore percentuale per ciascuna classe tessiturale (ghiaia, sabbia, argilla) poi estratto ed elaborato in software per la modellizzazione tridimensionale, GOCAD. In un GIS esterno o in GOCAD stesso, vengono elaborate la superficie topografica e la base degli acquiferi tra le quali è costruita una griglia 3D in cui ogni cella assume una forma ad esse proporzionale. A ciascuna cella, in corrispondenza di ogni pozzo georeferenziato, sono attribuite le percentuali di ogni classe tessiturale e mediante il «Discrete Smooth Interpolator» o la geostatistica vengono interpolati i valori in tutte le celle, ottenendo la ricostruzione tridimensionale della tessitura del sottosuolo.

Un esempio di tale metodologia riguarda la provincia di Alessandria per cui è già completo l'archivio stratigrafico codificato dei pozzi.

La ricostruzione della distribuzione 3D dei parametri tessiturali può essere considerata il punto di partenza per molte applicazioni idrogeologiche, come la valutazione di bilancio di massa di un sistema idrogeologico, l'applicazione di modelli di flusso e trasporto e la propagazione di pennacchi di contaminazione.

TERMINI CHIAVE: Banca Dati Idrologica, Classi Tessiturali, Acquiferi Eterogenei, Modellizzazione Tridimensionale.

ABSTRACT

Three-dimensional textural models in heterogeneous aquifers.

The suggested methodology concerns detailed quantitative reconstruction of textural characteristics in plane area subsoil. The organization and code translation of water well stratigraphic logs, rightly distributed in the study area, represent the core of the approach. Stratigraphic data are stored and codified in a specific hydrologic database, TANGRAM (BONOMI *et alii*, 1995), extracted and further elaborated with a three-dimensional modeling software, GOCAD (Geological Object Computer Aided Design) (GOCAD Suite, 2005). Three-dimensional georeferenced objects are created, then textural percentage values (gravel, sand and clay) are extracted from the hydrologic database and they are assigned at each stratigraphic levels. Spatial data of study area (topographic surface and aquifer bottom) are elaborated with external GIS or immediately GOCAD. A 3D grid is built between the two surfaces, resulting in proportionally shaped cell thickness value. Gravel, sand and clay percentage values are given to each cell, located in correspondence of every georeferenced well. Interpolation may be featured with «Discrete Smooth Interpolator» (DSI, Mallet, 1992) or geostatistic techniques. Values

are interpolated in every three-dimensional cell of the grid, resulting the 3D rebuilding of subsoil textural distribution. The elaborations can be referred to either shallow or deep aquifers. For example the study case of plane area of Alessandria (Piemonte, North-West Italy) is illustrated in this paper. The 3D rebuilding of subsoil textural distribution can be considered input data for many hydrogeological applications (mass-balance evaluation of an hydrogeological system, groundwater flow and pollutant transport models).

KEY WORDS: Hydrologic Database, Textural Characteristics, Heterogeneous Aquifers, Three-dimensional Modeling.

METODOLOGIA UTILIZZATA

La metodologia proposta si inquadra nell'uso della modellistica idrogeologica a supporto di interventi sul territorio e propone di destinare un ingente sforzo nelle normali applicazioni modellistiche alla fase di definizione delle caratteristiche strutturali e tessiturali di un acquifero; può essere sintetizzata secondo i seguenti punti:

1) archiviazione di tutti i dati relativi ai pozzi per acqua in un'apposita banca dati idrogeologica per pozzi, con particolare attenzione all'inserimento delle stratigrafie codificate e georeferenziate;

2) estrazione dalla banca dati dei termini tessiturali principali e delle caratteristiche idrogeologiche, in termini percentuali, e loro elaborazione tridimensionale con l'ausilio del software per la modellizzazione tridimensionale;

3) utilizzo delle ricostruzioni tridimensionali nell'applicazione di modelli idrogeologici.

CASO DI STUDIO

Viene presentato come caso di studio la ricostruzione tridimensionale delle caratteristiche tessiturali dell'acquifero superficiale dell'area di pianura della provincia di Alessandria, in cui si illustrano nel dettaglio le prime due fasi.

ARCHIVIAZIONE DEI DATI

La banca dati utilizzata TANGRAM è uno strumento sviluppato per l'archiviazione dei dati relativi ai pozzi messa a punto presso il Centro Studi per la geodinamica Alpina e Quaternaria del CNR di Milano (BONOMI *et alii*, 1995) in cui possono essere inseriti dati amministrativi, caratteristiche costruttive, misure piezometriche, prove idrauliche e codifica delle stratigrafie.

Per quanto riguarda la provincia di Alessandria (DE LUCA *et alii*, 2002), sono state inserite nel database informazioni relative a 759 pozzi e piezometri, di cui 558 provvisti di stratigrafia.

(*) Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano Bicocca, Piazza Scienza 1, 20126 Milano, Italy, e-mail: tullia.bonomi@unimib.it

Ricerca effettuata nell'ambito del Progetto RICLIC (Regional Impact of Climate Change in Lombardy Water Resources: Modelling and Applications), finanziato da Università degli Studi di Milano-Bicocca, Fondazione Lombardia Ambiente e Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia.

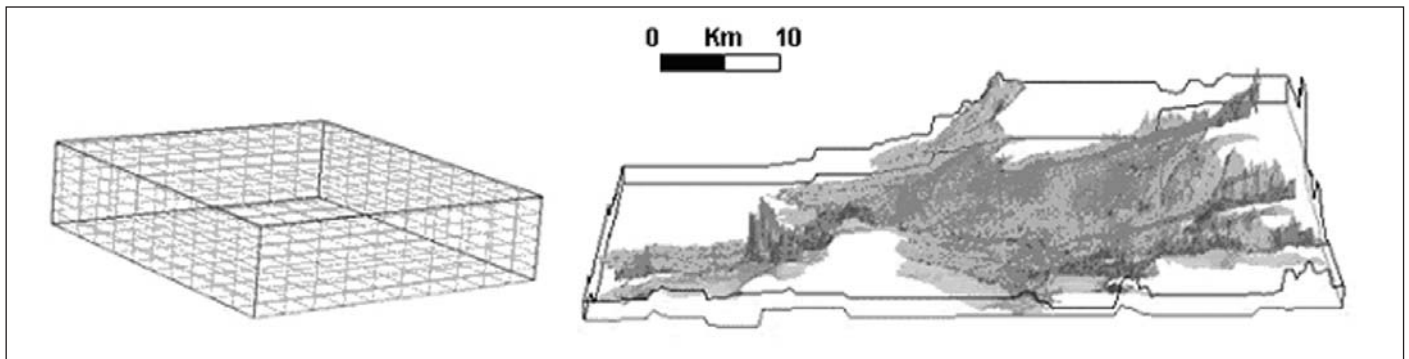


Fig. 1 - A sinistra griglia regolare, a destra griglia deformata con all'interno le due superfici.
 - On the left regular grid, on the right stretched grid with the two surfaces inside.

La codifica delle stratigrafie è l'aspetto più innovativo in quanto permette, in applicazioni a scala provinciale, un utilizzo quantitativo dei dati stratigrafici spesso considerati come una semplice descrizione qualitativa delle litologie. La codifica delle stratigrafie prevede l'utilizzo di 8 caratteri: i primi 4 caratteri sono riferiti al litotipo predominante mentre i rimanenti 4 al litotipo presente in per-

centuale minore. Per ciascun litotipo è previsto un sostantivo (es. ghiaia), un aggettivo (es. argillosa), uno stato (es. compatta) ed un colore (es. giallo). L'ordine con cui vengono inseriti i singoli elementi del codice è molto importante, perché le posizioni 1/2 e 5/6, indicanti le caratteristiche tessiturali, hanno un peso percentuale e sono le uniche ad essere elaborate.

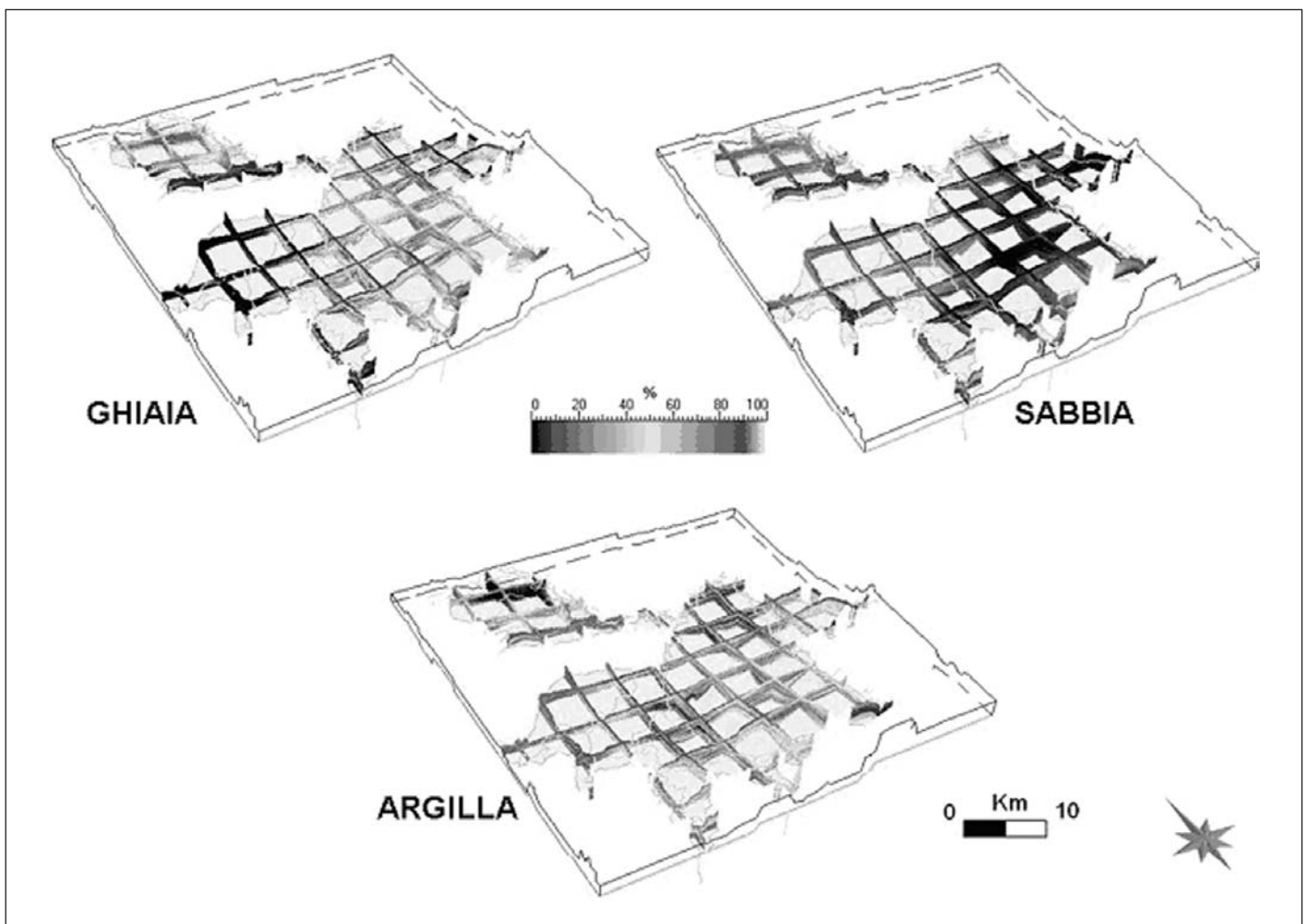


Fig. 2 - Alcune sezioni incrociate Ovest-Est.
 - Some crossed sections West-East.

Le informazioni stratigrafiche così codificate possono essere successivamente estratte: l'obiettivo è quello di individuare le percentuali che possono essere ricondotte alle varie tessiture, entro un certo intervallo di profondità e in riferimento ai pozzi che ricadono nell'area selezionata sulla base di criteri territoriali; le tessiture percentuali possono essere interpolate, secondo intervalli normalizzati scelti dall'utente (per esempio ogni 2 o 5 m di profondità), per ottenere la distribuzione areale delle singole estrazioni oppure possono essere convertiti in punti XYZ da cui ottenere una ricostruzione tridimensionale delle caratteristiche tessiturali del sottosuolo per la profondità voluta.

Relativamente al caso di studio è stata eseguita un'estrazione su tutta la provincia di Alessandria (area di indagine), tra 0-100 m di profondità (profondità di investigazione), suddivisa in sotto-intervalli di 2 m ciascuno (ampiezza dell'intervallo di estrazione); sono state definite quattro tipologie di selezione da estrarre: la prima comprendente i termini grossolani, la seconda quelli medi, la terza i fini e la quarta tutti quei termini che, pur non avendo significato dal punto di vista idrogeologico, sono comunque presenti nelle stratigrafie. Si è così ottenuto un file costituito da 12.097 records, contenente il codice relativo a ciascun pozzo, le coordinate geografiche, le quattro selezioni estratte (pozzi con valori di quarta selezione pari o maggiori di 10% sono stati eliminati, perché privi di significato idrogeologico per le elaborazioni successive), la profondità di ogni livello estratto, le quote dei pozzi e la quota del livello estratto. Il file creato contiene le informazioni tessiturali, relative a ghiaia, sabbia e argilla ed è direttamente importabile in Gocad (AMY CHENG).

ELABORAZIONE TRIDIMENSIONALE DEI DATI

Nella seconda fase, si sviluppa una ricostruzione di dettaglio tridimensionale delle caratteristiche tessiturali ed idrogeologiche di un sito, utilizzando il software GOCAD (Geological Object Computer Aided Design) (Gocad Suite, 2005); si ricostruiscono le geometrie di riferimento del sistema idrogeologico in esame (per esempio, superficie topografica e base degli acquiferi) e si crea una griglia tridimensionale (Sgrid) delimitata da tali superficie. I punti XYZ ricavati dalla banca dati vengono interpolati tridimensionalmente, secondo tale griglia, con l'uso del DSI (Discrete Smooth Interpolator, MALLETT, 1992) e/o di tecniche geostatistiche (kriging).

La ricostruzione tridimensionale del sistema nell'area di studio ha preso come riferimento il perimetro della base dell'acquifero superficiale, desunto dallo studio dell'Università di Torino (BOVE *et alii*, 2004; PROVINCIA DI TORINO *et alii*, 2001): dai punti delle linee di egual quota della base, è stato ricavato il bottom, ossia la superficie inferiore del sistema, e dai dati del DTM della provincia (REGIONE PIEMONTE, 2001) è stata ricreata la superficie topografica, ovvero il limite superiore. In entrambi i casi sono stati importati in Gocad i punti relativi alle due superfici (470236 per ciascuna), disposti nello spazio 3D in funzione delle proprie coordinate (XY) e della quota ed elaborati assieme alle curve che ne definiscono i perimetri, al fine di ricostruire le superfici. Per ricostruire il modello 3D caratterizzante l'acquifero superficiale, i dati puntuali relativi a top e bottom del sistema sono stati in-

terpolati, in modo da giungere alla definizione di una griglia tridimensionale (SGrid): 125 strati, ognuno costituito da 209 righe e 199 colonne, per un totale di 5.198.875 celle, tutte di dimensioni areali costanti pari a 250 m*250 m. L'altezza delle celle è oscillante attorno al valore medio di 2 m, inizialmente imposto, a causa della deformazione proporzionale rispetto al top e al bottom della stessa griglia, introdotta successivamente per garantire un suo migliore adattamento alle geometrie delle due superfici (fig. 1).

In funzione della griglia è stata elaborata la caratterizzazione tessutturale dell'acquifero superficiale: i records del file estratto da Tangram sono stati direttamente importati in Gocad, come *PointSet* e i valori percentuali delle tessiture dei singoli pozzi sono state attribuiti alla griglia, attraverso il metodo di interpolazione Kriging, che utilizza la funzione variogramma. È stato quindi possibile un calcolo tridimensionale della distribuzione delle caratteristiche tessiturali, visualizzata tramite mappe tridimensionali, e una loro interpretazione di dettaglio grazie all'esame di sezioni costruite lungo le tre direzioni (fig. 2).

Da una valutazione complessiva è risultato che il sistema è ricco di materiali grossolani e fini, quest'ultimi abbondano negli strati più superficiali, al contrario di quelli medi, presenti in percentuali basse.

MODELLIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DEL FLUSSO

Nella terza fase vi è la costruzione, sulla base della struttura idrogeologica definita nel punto precedente, di un modello idrogeologico di flusso 3D il cui dettaglio di conducibilità idraulica e porosità efficace è derivato dalle distribuzioni percentuali di ghiaia, sabbia e argilla ed è definito secondo la medesima griglia adottata per le ricostruzioni tridimensionali. Una dettagliata parametrizzazione dell'acquifero consente di modellizzare i passaggi graduali delle caratteristiche idrauliche negli acquiferi presenti, riproducendo al meglio l'effettiva eterogeneità del sistema ed evitando la tradizionale forzata delimitazione a priori tra zone più permeabili e zone meno permeabili.

La metodologia proposta punta alla ricostruzione quantitativa dettagliata delle caratteristiche tessiturali del sottosuolo di aree di pianura, finalizzata da una lato ad una miglior comprensione della struttura presente e dall'altro alla predisposizione di idonei dati di input nei modelli di simulazione, in particolare quando si affrontano modelli di trasporto in falda. Si è verificato (BONOMI *et alii*, 2006) infatti che il pennacchio di inquinamento può seguire percorsi differenti in funzione della distribuzione di lenti a bassa permeabilità.

BIBLIOGRAFIA

- AMY CHENG - *Geostatistic and Reservoir Characterization in Gocad*.
 BONOMI T., CAVALLIN A. & DE AMICIS M. (1995) - *Un database per pozzi: TANGRAM*. Quaderni Geologia Applicata, suppl., **31/95**, 3.461-3.465.
 BONOMI T., FUMAGALLI L. & DOTTI N. (2006) - *Fenomeno di inquinamento da solventi: elaborazioni idrogeologiche ed idrochimiche e modellizzazione idrogeologica tridimensionale del flusso e del trasporto*. Relazione interna Università degli Studi di Milano-Bicocca e Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia, Milano.

- BOVE A., DESTEFANIS E., DE LUCA D.A., MASCIOTTO L., OSSELLA L. & TONUSSI M. (2004) - *Studio idrogeologico finalizzato alla caratterizzazione dell'acquifero superficiale nel territorio della Provincia di Alessandria*. Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Torino.
- DE LUCA D.A., BORTOLAMI G., MASCIOTTO L., DESTEFANIS E., MORELLI A., OSSELLA L. & SIRI L. (2002) - *Identificazione del modello idrogeologico concettuale degli acquiferi di pianura e loro caratterizzazione*. Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Torino.
- GOCAD SUITE (2005) - *Earth Decision*.
- MALLET J.L. (1992) - *Discrete smooth interpolation in geometric modelling*. Computer aided design, **24**, 178-11.
- PROVINCIA DI TORINO, BORTOLAMI G., DE LUCA D.A., MASCIOTTO L. & MORELLI A. (2001) - *Le Acque sotterranee della pianura di Torino, Carta della base dell'acquifero superficiale*.
- REGIONE PIEMONTE (2001) - *Manuale DTM_PIEM 2.0*.