

# La geomatica per lo sviluppo di modelli concettuali degli acquiferi sotterranei: cartografia isotopica del corpo idrico della Piana di Barcellona-Milazzo (Sicilia)

Paolo Madonia, Marianna Cangemi, Leonardo La Pica, Sabina Morici, Rocco Favara

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo, via Ugo La Malfa 153, 90146 Palermo, e-mail paolo.madonia@ingv.it

## Introduzione

Una tipica applicazione dell'idrologia isotopica risiede nella determinazione delle aree di ricarica di corpi idrici sotterranei, d'ora in poi richiamati con l'acronimo CIS. Ciò avviene attraverso il confronto tra la composizione isotopica dell'Ossigeno delle molecole d'acqua degli acquiferi e quella delle piogge insistenti nell'area sede del CIS e della sua possibile area di ricarica esterna. La composizione isotopica dell'Ossigeno si esprime in termini di rapporto di abbondanza ( $R$ ) tra le specie isotopiche 18 e 16. Tale rapporto di abbondanza viene espresso in ‰ e formalizzato con la notazione  $\delta^{18}\text{O}$ , definita come:

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \frac{R_{\text{campione}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \quad [1]$$

Lo standard utilizzato per le acque è il V-SMOW (Vienna-Standard Mean Oceanic Water), che in base all'Eq. [1] assume valore  $^{18}\text{O}=0\text{‰}$  (IAEA, 1981). I valori di  $^{18}\text{O}$  tendono a diminuire con l'aumentare della quota media delle aree di infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano gli acquiferi, lungo la direzione di propagazione degli eventi piovosi, specialmente se questi sono controllati dall'orografia, ma anche in funzione dell'origine delle masse d'aria umida dalle quali si genera la pioggia. Le acque meteoriche non modificate dall'evaporazione assumono valori di  $^{18}\text{O}$  negativi, le cui medie annue in Italia sono comprese per lo più tra -5 (precipitazioni atmosferiche in aree costiere) e -10 (piogge in aree montuose).

La scelta di un opportuno metodo di modellizzazione spaziale della composizione isotopica delle piogge è dirimente rispetto alla capacità di tale modello di descrivere efficacemente il sistema analizzato. Un primo approccio, normalmente utilizzato nella letteratura scientifica di settore per considerazioni di carattere generale (IAEA, 1981), consiste nella determinazione del gradiente isotopico verticale; tale metodo però non tiene conto di tutti gli altri effetti che si articolano sul piano orizzontale, come ad esempio la direzione di propagazione degli eventi piovosi. Per finalità applicative in campo

idrogeologico si tendono quindi a preferire approcci più complessi, valutando le possibili relazioni tra la composizione isotopica misurata in apposite stazioni di campionamento delle piogge e la geometria 3D della rete di misura. In altre parole, alla semplice relazione:

$$\delta^{18}\text{O} = f(z) \quad [2]$$

si preferisce la relazione più completa:

$$\delta^{18}\text{O} = f(x, y, z) \quad [3]$$

Partendo quindi dalla misura della composizione isotopica delle piogge, acquisita in reti di campionamento con maglie tipicamente triangolari (T.I.N., *Triangulated Irregular Network*), attraverso la relazione [3] formalizzata come regressione lineare multipla possono essere derivate strutture spaziali di dati che, per analogia con i DEM, possono essere definite D.I.M. (Digital Isotopic Model). Risulta a questo punto evidente come la geomatica giochi un ruolo fondamentale in questo tipo di elaborazioni.

Il caso di studio presentato in questa sede, la Piana di Barcellona-Milazzo in Sicilia, è parte di una attività più estesa realizzata nell'ambito di un accordo di collaborazione tra INGV e Dipartimento Acqua e Rifiuti della Regione Siciliana (oggi Autorità di Bacino), finalizzata allo sviluppo dei modelli concettuali dei Corpi Idrici Sotterranei (CIS) della Sicilia. In particolare, verrà descritta la metodologia utilizzata per identificare le possibili aree di ricarica del CIS attraverso dati di natura isotopica.

### Area di studio

La Piana di Barcellona-Milazzo rappresenta uno dei più importanti acquiferi costieri della Sicilia; situata nella fascia nord-orientale della Sicilia, è densamente popolata e caratterizzata dalla presenza di numerosi pozzi a scopo idropotabile ed irriguo. Geologicamente si colloca nel settore settentrionale della Catena Peloritana, la quale rappresenta la porzione più orientale e geometricamente più alta della catena a *thrust and fold* della Sicilia. Questa Piana, parallela alla costa e delimitata da sistemi di faglia NW-SE e NE-SW (Arnone et, 2006), è riempita da recenti depositi alluvionali (olocenici), con uno spessore massimo da 90 a 100 m (Carbone et al. 2011).

### Materiali e metodi

I campioni di acqua, prelevati da pozzi ubicati nell'area in studio sono stati analizzati nei laboratori della Sezione di Palermo dell'INGV al fine di determinarne la composizione isotopica (Ossigeno) tramite spettrometria di massa. Sono state inoltre condotte determinazioni dei principali parametri chimico-fisici, tra i quali il contenuto di Cloro come indicatore di possibili fenomeni di ingressione marina.

I valori calcolati sono stati elaborati utilizzando il software Golden Software Surfer 16, creando una mappa ad isolinee della composizione isotopica. Parallelamente è stato sviluppato il D.I.M. delle precipitazioni, utilizzando il software Qgis per le operazioni topologiche necessarie al calcolo dei valori di composizione isotopica attesi per il CIS in esame. La distribuzione spaziale

della composizione isotopica misurata nei pozzi è stata quindi messa a confronto con quella attesa dal D.I.M. per valutare il grado di sovrapposizione tra la superficie del CIS e la sua area di ricarica.

### **Fasi di elaborazione**

Le fasi di elaborazione dei dati che hanno portato alla redazione della carta di composizione isotopica del CIS della Piana di Barcellona-Milazzo sono le seguenti:

- Calcolo dei parametri della retta di regressione lineare multipla che lega la composizione isotopica media annua delle piogge (variabile dipendente), pesata in funzione della quantità di pioggia, con le coordinate  $x, y, z$  delle stazioni di misura della composizione isotopica (variabili indipendenti), espresse in termini di longitudine UTM ( $x$ ), latitudine UTM ( $y$ ) e quota s.l.m. ( $z$ );
- Trasformazione di un D.E.M.  $1 \times 1$  km nel D.I.M. equivalente tramite la formula precedentemente descritta;
- Intersezione topologica tra il D.I.M. ed il layer poligonale contenente i limiti dei CIS per estrarre i punti relativi a quello della Piana di Barcellona-Milazzo (Fig.1), la cui media aritmetica restituisce la composizione isotopica media annua teorica delle acque sotterranee nell'ipotesi in cui l'area di ricarica coincida con il perimetro stesso del CIS (ricarica diretta);
- Confronto tra la composizione isotopica attesa e quella misurata per l'individuazione delle possibili aree di ricarica
- Analisi della distribuzione spaziale delle anomalie isotopiche, e confronto con quella del Cloro ai fini della determinazione dei rapporti di interscambio con il mare, per l'estrazione di inferenze sulle modalità di circolazione delle acque sotterranee.

### **Presentazione ed interpretazione dei dati**

La mappa ad isolinee della composizione isotopica delle acque sotterranee del CIS Piana di Barcellona-Milazzo è presentata in Fig.2. La composizione isotopica media annua delle piogge che insistono direttamente sul CIS è risultata pari a  $-6.1$  ‰; tenendo conto che la somma degli errori di modello ed analitici risulta pari a  $\pm 0.3$  ‰, sono stati considerati come compatibili con la ricarica diretta tutti i valori misurati compresi nell'intervallo  $5.8$   $6.4$  ‰.

Come si evince dalla Fig.2 solo 5 pozzi presentano valori compatibili con una ricarica di tipo diretto, mentre tutti gli altri hanno composizioni isotopiche che arrivano sino a  $-8$  ‰, evidenziando come l'acquifero sotterraneo di questa piana alluvionale riceva una ricarica laterale proveniente dalle aree montuose poste immediatamente a sud di essa. I valori compatibili con la ricarica diretta mostrano un arrangiamento spaziale che delimita una idrostruttura sepolta orientata ESE WNW, allineata con l'asse della fiumara che sbocca nella piana (vedi Fig.1), che risulta ruotato in senso orario di circa  $30^\circ$  rispetto alla direzione del tratto terminale della fiumara stessa; tale rotazione è dovuta ad un intervento di regimazione del corso d'acqua, per cui è verosimile affermare che tale idrostruttura coincida con il paleoalveo sepolto della fiumara.

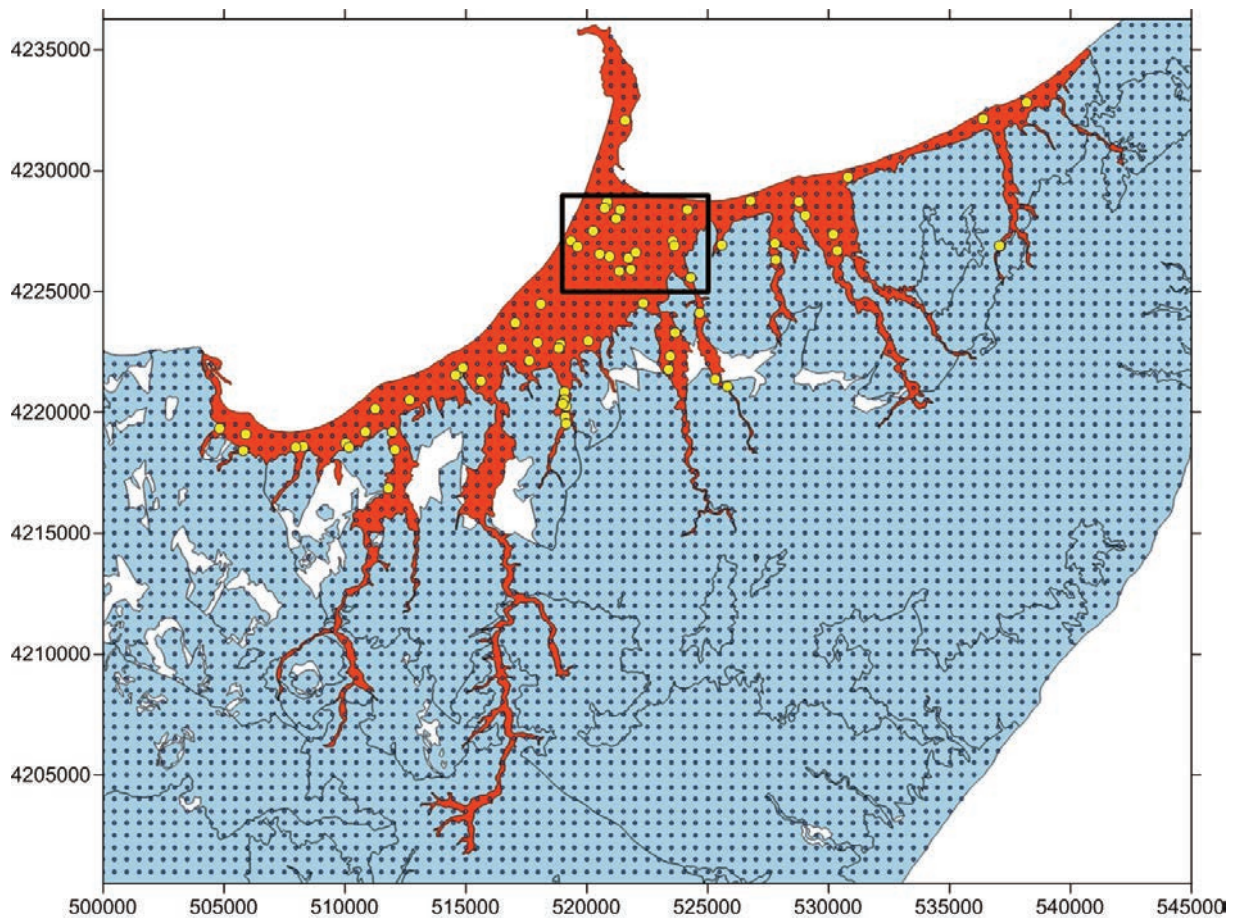


Figura 1 – Intersezione tra layer poligonale contenente le delimitazioni dei Corpi idrici Sotterranei (CIS) e layer puntuale contenente la griglia 1x1 km delle composizioni isotopiche ( $^{18}\text{O}$  ‰) medie annue delle piogge. La Piana di Barcellona-Milazzo è evidenziata in rosso. Le coordinate sono espresse come UTM WGS84, Zona 33 N. I punti gialli sono i pozzi utilizzati per le misure isotopiche, il box nero identifica l'area di dettaglio cui fanno riferimento le successive elaborazioni.

Il paleoalveo rappresenterebbe quindi una zona a maggiore permeabilità che, facilitando l'infiltrazione e la circolazione sotterranea dell'infiltrazione diretta del CIS, modifica localmente i rapporti di mescolamento con la ricarica laterale. Tale ipotesi viene ulteriormente suffragata dai dati di distribuzione del Cloro (Fig.3), dai quali si evince che il paleoalveo sepolto coincide con la zona a minore contenuto di questa specie ionica, giustificabile con un flusso sotterraneo di acque dolci più elevato rispetto alle zone circostanti, che risentono maggiormente di un modesto fenomeno di ingressione marina. Nonostante il cuneo salino sia di modesta entità è comunque in grado di influenzare significativamente la qualità delle acque sotterranee: i valori di concentrazione dello ione Cloro sono infatti compresi nell'intervallo 15-45 mg L<sup>-1</sup>, ampiamente superiore al valore di 5 mg L<sup>-1</sup> indicato dalla *World Health Organization* (2011) come soglia da non superare per le acque potabili.



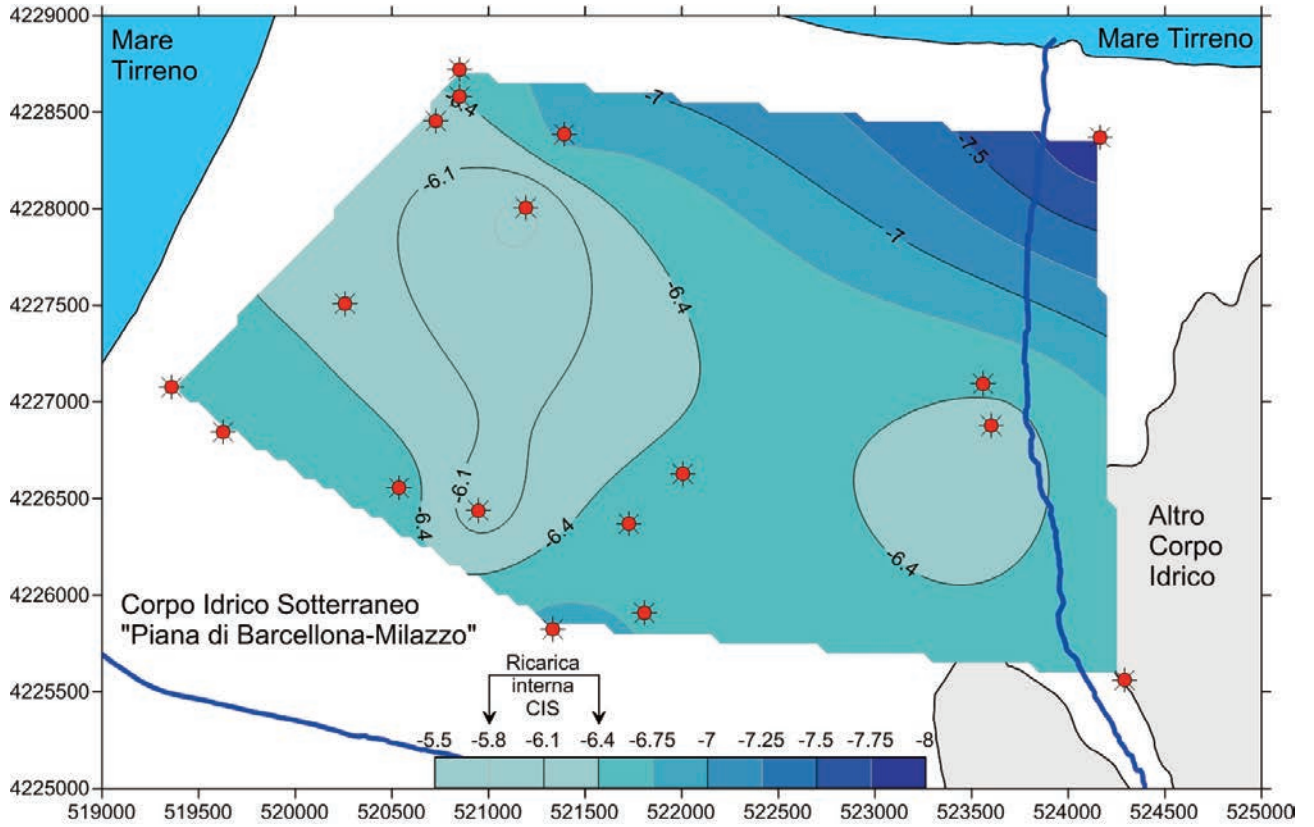


Figura 2 - Mappa ad isolinee della composizione isotopica ( $^{18}\text{O}$  ‰) del settore in studio del Corpo Idrico Sotterraneo della Piana di Barcellona-Milazzo

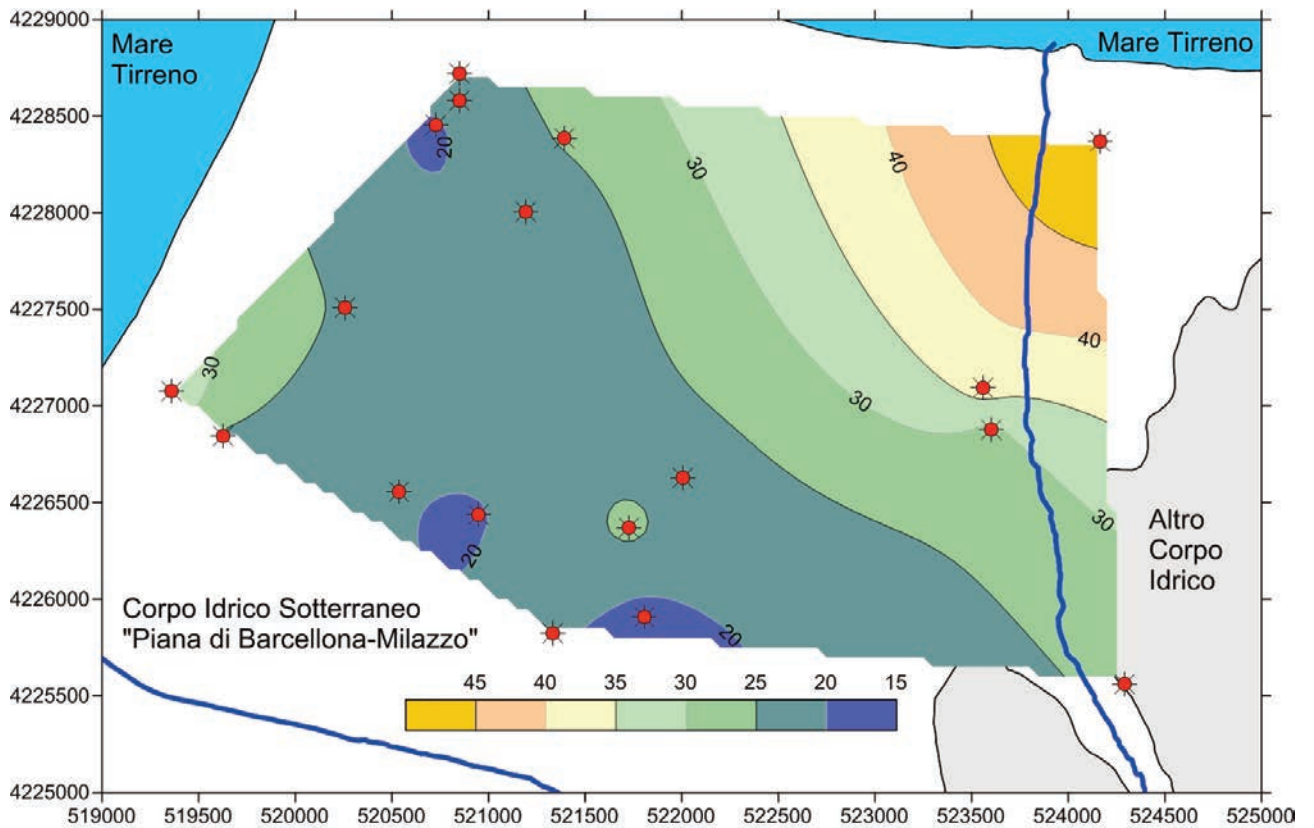


Figura 3 - Mappa ad isolinee del contenuto in Cloro ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nel settore in studio del Corpo Idrico Sotterraneo della Piana di Barcellona-Milazzo

## Riferimenti bibliografici

Arnone G., Favara R., Nigro F., Perricone M., Renda P., Mondello C. (2006), "Integrated neotectonic and morphometric analysis of Northern Sicily", *Boll. Soc. Geol. Ital.* 125: 221–244.

Carbone S., Messina A., Lentini F., Macaione E., (2011), "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50,000; Foglio 587 Milazzo e 600 Barcellona Pozzo di Gotto". ISPRA-Regione Siciliana, 1-262; S.EL.CA.: Firenze, Italy, 2011.

IAEA (1981), *Stable Isotope Hydrology Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle*, Technical Reports Series No. 210, Vienna

WHO (World Health Organization, 2011), "Guidelines for Drinking-water Quality", 4th ed.; WHO Press: Geneva, Switzerland, p. 564.