

Il design delle reti di monitoraggio idrogeologiche

Francesco La Vigna

ROMA CAPITALE Dip. Tutela ambientale - Protezione Civile

Uff. Geologia ed Idrogeologia Ambientale - Roma

francesco.lavigna@comune.roma.it

Le reti di monitoraggio sono uno di quegli elementi che fanno parte della vita degli idrogeologi. Il nostro mestiere ha infatti continuamente bisogno di interfacciarsi con una quarta dimensione sotterranea, la falda acquifera, che a differenza della geologia (che intesa come successione stratigrafica difficilmente varia nel tempo su scala antropica), è mutevole, dinamica e variabile per forma e qualità nel tempo oltre che nello spazio.

Per quanto possa sembrare banale, la progettazione, o *design*, di una rete di monitoraggio idrogeologica efficiente, specialmente se relativa a vaste porzioni di territorio, costituisce una vera e propria sfida.

La scelta dell'ubicazione delle stazioni di monitoraggio dovrebbe essere sempre pianificata con attenzione e mai casuale. La rete dovrebbe avere una densità spaziale e una frequenza di campionamento che consideri le caratteristiche naturali del corpo idrico sotterraneo (modello concettuale) e l'eventuale presenza di sorgenti di inquinamento, per aiutare ad incentrare le attività di monitoraggio nelle zone in cui esistono significative pressioni. Perché poi una rete di monitoraggio sia rappresentativa tridimensionalmente, la comprensione dettagliata delle caratteristiche idrogeologiche e delle pressioni sul sistema è essenziale, specialmente quando vi è evidenza di una significativa variazione verticale nelle caratteristiche dell'acquifero e di una stratificazione della qualità delle acque sotterranee (European Commission, 2007).

Per via del contenimento dei costi, molti programmi di monitoraggio dipendono in larga misura dal campionamento di punti d'acqua esistenti (Melian et al, 1999). Di questi, i pozzi pubblici di approvvigionamento hanno il vantaggio di essere utilizzati più o meno costantemente. Lo spurgo quindi non è necessario, e il campionamento attraverso l'uso delle pompe esistenti (spesso attraverso un rubinetto laterale) è semplice e relativamente poco costoso. Pozzi domestici, industriali e di irrigazione privati sono anche ampiamente utilizzati, e hanno molti degli stessi vantaggi appena descritti. Tuttavia, possono essere utilizzati meno regolarmente e spesso non è possibile risalire alle modalità costruttive, alla stratigrafia della perforazione e agli orizzonti acquiferi captati. Anche se con alcuni limiti, e con la problematica di essere spesso espressione di una situazione dinamica, i punti in corrispondenza di pozzi preesistenti costituiscono, per la loro disponibilità a costo zero, una valida ed economica soluzione per identificare stazioni di monitoraggio.

Diversi metodi sono stati impiegati da vari autori per valutare la rappresentatività delle reti di campionamento delle

acque sotterranee. La maggior parte degli approcci per la progettazione e ottimizzazione delle reti si basano su tecniche statistiche e geostatistiche, concettualizzazioni idrogeologiche, modellazioni idrogeologiche, o una combinazione di queste. Principalmente però possono essere raggruppati in due classi, ossia metodi statistici e metodi idrogeologici (Loaiciga et al., 1992). Ovvero possono essere essenzialmente basati sui dati (*data-driven*) o basati sui processi (*process-driven*). Gli approcci basati sui dati comprendono le tecniche statistiche. Tali tecniche cercano di identificare analogie e modelli nei dati come obiettivo primario, per poi dedurre i processi che sono alla loro base. Al contrario le tecniche guidate dai processi, come la modellazione idrogeologica, prima tentano di simulare i processi fisici alla base dei processi, e in secondo luogo confrontano i risultati simulati con le osservazioni. Il vantaggio principale degli approcci *data-driven* per le indagini sotterranee è che essi non si basano sulla conoscenza del territorio, o sulle variazioni delle proprietà idrodinamiche e/o idrodispersive, che sono invece richieste come input per approcci *process-driven*. Di contro, il vantaggio principale delle tecniche *process-driven* è che forniscono informazioni sulla dinamica dei sistemi acquiferi, difficili da dedurre o chiarire utilizzando le tecniche *data-driven* (Daughney et al., 2011).

Negli approcci di tipo idrogeologico, la progettazione della rete è basata sull'esperienza, senza l'uso di metodi geostatistici. Questi approcci vengono applicati di solito dopo l'applicazione di modelli di flusso delle acque sotterranee e di trasporto (Everett, 1980) o comunque dopo un rilevamento di dettaglio. Vi è quindi sempre alla base un modello concettuale identificato e sulla base dello stesso si cerca di posizionare le stazioni in punti rappresentativi di ogni corpo idrico (metodo idrogeologico) o in punti in grado di tenere sotto controllo una situazione di locale contaminazione (Hudak, 1998) (metodo idrochimico).

Negli approcci di tipo statistico la progettazione della rete si basa sulla definizione della struttura spaziale della variabile da monitorare (Kollat et al, 2011). Questa variabile può variare nel tempo e nello spazio. Questo approccio può a sua volta essere classificato in approccio di simulazione, approccio basato sulla varianza, approccio di ottimizzazione, approccio probabilistico e approccio basato sull'entropia (Mogheir et al, 2006).

Vi è poi un metodo più semplicistico e che può essere utilizzato prevalentemente durante le fasi preliminari di studio per installare una primordiale rete di monitoraggio, che è il metodo "geometrico". Questo metodo che viene spesso utilizzato anche nelle prime fasi di rilevamento dei dati in zone

ancora non caratterizzate, prevede la suddivisione del territorio in aree definite, dentro cui far ricadere un punto di monitoraggio, o più semplicemente prevede una densità minima di punti di monitoraggio per unità d'area (Ministero dell'Ambiente, 2000).

Relativamente all'identificazione degli intervalli temporali di misura e/o campionamento è necessario sempre analizzare il contesto dell'area e valutare se ci siano interferenze antropiche che possano compromettere i dati (come pozzi attivi nelle vicinanze, impianti di bonifica, attività estrattive etc.). Quando poi si fosse nella condizione "fortunata" per la quale esistano anche dei punti di monitoraggio preesistenti e con degli strumenti che abbiano registrato in continuo e per un periodo piuttosto lungo i dati, una buona pratica può essere quella di analizzare queste serie di dati per valutare i periodi dell'anno in cui vi è una varianza minore del dato e considerare gli stessi come periodi ideali per pianificare i campionamenti perché più rappresentativi delle condizioni "statiche" della falda (La Vigna et al., 2012).

Il 22 dicembre 2015 scade il termine per il raggiungimento degli obiettivi ambientali previsti dalla direttiva quadro sulle acque (WFD - 2000/60 CE), e dalla direttiva comunitaria relativa alla tutela delle falde dall'inquinamento e dal deterioramento (2006/118 CE recepita dal D.lgs. 30 del 16 marzo 2009), in termini di conseguimento (o mantenimento) del "buono" stato ecologico per tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei, ad eccezione dei corpi idrici "a rischio" per cui i termini sono stati prorogati fino al 2021. Sebbene per le acque sotterranee europee i dati più recenti mostrano un quadro migliore rispetto ai corpi idrici superficiali (nel 2009, infatti, l'80% era in buono stato chimico e l'87% in buono stato quantitativo; per il 2015 invece si prevede un ulteriore miglioramento, con l'89% ed il 96% dei corpi idrici sotterranei in buono stato chimico e quantitativo, rispettivamente) l'attività di monitoraggio, gestita e progettata in modo corretto, resta un presidio necessario e vitale per i corpi idrici sotterranei (Di Vito et al., 2014). Questo specialmente per i paesi, come l'Italia, che attingono alle acque sotterranee per circa l'85% del totale per gli scopi idropotabili (Onorati et al., 2006; Jørgensen e Stockmarr, 2009).

BIBLIOGRAFIA

- Daughney CJ, Raiber M, Moreau-Fournier M, Morgenstern U, Van der Raaij R (2011) Use of hierarchical cluster analysis to assess the representativeness of a baseline groundwater quality monitoring network: comparison of New Zealand's national and regional groundwater monitoring programs, *Hydrogeology Journal*, 20: 185–200. DOI 10.1007/s10040-011-0786-2
- Di Vito S, Mancini M, Minutolo A, Zampetti G (2014) *Aqualequalità - La sfida della qualità, della tutela degli ecosistemi e delle risorse idriche in Italia per il raggiungimento degli obiettivi della direttiva quadro 2000/60 sulle acque*. Legambiente. http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/dossier_acqualequalita_2014.pdf
- EC (2007) European Commission, common implementation strategy for the water framework directive, guidance document No.15. Guidance on groundwater monitoring. http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents&vm=detailed&sb=Title. Cited 1 January 2008
- Everett LG (1980) *Groundwater monitoring*. General Electric Company, Schenectady, New York
- Hudak PF (1998) A method for designing configurations of nested monitoring wells near landfills. *Hydrogeology Journal* 6:341–348
- Kollat JB, Reed PM, Maxwell M (2011) Many-objective groundwater monitoring network design using bias-aware ensemble Kalman filtering, evolutionary optimization, and visual analytics *Water Resources Research*, 47: 2
- La Vigna F, Mazza R, Capelli G (2012) Detecting the flow relationships between deep and shallow aquifers in an exploited groundwater system using long-term monitoring data and quantitative hydrogeology: the Acque Albule basin (Central Italy), *Hydrol. Process.* 27, 3159–3173. DOI: 10.1002/hyp.9494
- Loaiciga H, Charbeneau R, Everett L, Fogg G, Hobbs B, Rouhani S (1992) Review of Ground-Water Quality Monitoring Network Design, *J. Hydraul. Eng.*, 118(1), 11–37.
- Jørgensen LF, Stockmarr J (2009) Groundwater monitoring in Denmark: characteristics, perspectives and comparison with other countries, *Hydrogeology Journal* 17: 827–842
- Melian R, Myrlian N, Gouriev A, Moraru C, Radstake F (1999) Groundwater quality and rural drinking-water supplies in the Republic of Moldova, *Hydrogeology Journal* 7:188–196
- Ministero dell'Ambiente (2000) Progetto Interregionale PRISMAS "Sorveglianza e monitoraggio quali-quantitativo delle acque sotterranee" WP 3.5 d04 – Criteri d'impostazione delle reti di monitoraggio delle acque sotterranee nelle diverse condizioni idrogeologiche e socioeconomiche.
- Mogheir Y, Singh VP, de Lima JLMP (2006) Spatial assessment and redesign of a groundwater quality monitoring network using entropy theory, Gaza Strip, Palestine, *Hydrogeology Journal* 14: 700–712. DOI 10.1007/s10040-005-0464-3
- Onorati G, Di Meo T, Bussetini M, Fabiani C, Farrace MG, Fava A, Ferronato A, Mion F, Marchetti G, Martinelli A, Mazzoni M (2006) Groundwater quality monitoring in Italy for the implementation of the EU water framework directive. *Phys Chem Earth* 31:1004–1014



Fig. 1 - Piezometri della rete di monitoraggio dell'area estrattiva di Tivoli - Guidonia (Roma) (da La Vigna et al 2012).