

Effetti del trasferimento di pressione negli acquiferi confinati

Francesco La Vigna

ROMA CAPITALE Dip. Tutela ambientale - Protezione Civile
Uff. Geologia ed Idrogeologia Ambientale - Roma
francesco.lavigna@comune.roma.it

Come è noto i liquidi, ed in particolare l'acqua, hanno un coefficiente di compressibilità molto basso (coefficiente di compressibilità dell'acqua = $4.5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Kg}$). Questo determina che quando un liquido è all'interno di un serbatoio saturo o un circuito chiuso, l'applicazione di una pressione o di un carico, in un punto qualsiasi del sistema, comporti un aumento di pressione pressoché pari al carico applicato, in tutti i punti del sistema stesso. È il classico esempio del materasso ad acqua; se si applica una pressione in un qualsiasi punto del materasso, immediatamente la pressione si trasferirà attraverso il materasso stesso.

In modo ovviamente più complesso, per via dell'interazione tra acqua e granuli e della disomogeneità geologica, avviene approssimativamente la stessa cosa all'interno di un corpo acquifero confinato.

Gli acquiferi confinati, o in pressione (per l'appunto), infatti possono essere schematizzati come serbatoi chiusi, a volume dei vuoti costante, e dove l'acqua sotterranea si muove prevalentemente per effetto di una pressione esercitata nella zona di ricarica, in cui il livello di saturazione è più elevato dello strato di tetto confinante dell'acquifero. Proprio perché il volume degli acquiferi confinati è costante, e perché l'acqua ha un coefficiente di compressibilità molto basso, le falde in pressione possono essere usate come precisissimi indicatori delle variazioni di pressione che subiscono. Praticamente ogni perturbazione fisica che interessa un acquifero confinato può essere letta attraverso una variazione di pressione e quindi di livello di falda.

D'altro canto è stato ampiamente dimostrato come negli acquiferi confinati è la pressione stessa dell'acqua a contribuire in parte al "sostegno" degli strati geologici sovrastanti al punto che in corrispondenza acquiferi confinati sovra sfruttati si verificano spesso dei cedimenti dovuti al riassetto dei granuli. Nel 1925, O.E. Meinzer, esaminando le modalità di erogazione e immagazzinamento di acqua negli acquiferi confinati, riconobbe che un acquifero in pressione (il *Dakota sandstone, North Dakota*) si era compattato in seguito alla variazione del livello piezometrico; egli concluse che la pressione esercitata dagli strati posti a tetto dell'acquifero Dakota era sostenuta in parte dalla pressione del fluido ed in parte dallo scheletro solido dell'arenaria costituente l'acquifero (Meinzer, 1928). Successivamente Jacob (1940), considerando la complessità dei sistemi acquiferi, perfezionò detta conoscenza, rilevando che, quando un fluido viene rimosso, il susseguente decremento di pressione viene compensato oltre che dall'espansione dell'acqua e dalla compressione della parte solida dell'acquifero, anche dalla deformazione degli eventuali acquitardi intercalati.

Ovviamente, come già richiamato precedentemente

nell'ambito di questa rubrica (La Vigna, 2013), la presenza di strumenti di monitoraggio in continuo dei livelli, gioca un ruolo fondamentale per l'individuazione di simili variazioni. Questo perché tali processi sono nella maggior parte dei casi poco sostenuti nel tempo, ed essendo la risposta di un liquido in pressione ad una perturbazione molto elastica, la stessa tende a manifestarsi in un periodo di tempo spesso limitato, per cui l'unico modo di individuarla è quella di registrare le oscillazioni di livello con un intervallo molto breve (Taylor e Alley, 2001).

Sebbene in letteratura questo argomento sia stato già affrontato, non si riscontrano trattazioni molto recenti, cosa strana data la disponibilità sempre maggiore e ad un minor prezzo di sofisticati strumenti di monitoraggio. Fanno eccezione i lavori pubblicati riguardanti le variazioni di livello indotte dai terremoti, su cui la trattazione, specialmente negli Stati Uniti e in Giappone, è ampia e costante nel tempo (Brodsky et al, 2003; Matsumoto et al, 2003; La Vigna et al, 2012).

Se l'effetto della pressione atmosferica è ampiamente riconosciuto, ma considerato trascurabile sui livelli di falda freatica piuttosto profondi, dove la pressione atmosferica deve prima attraversare la zona vadosa per poi arrivare ad interessare la porzione satura, lo stesso non si può dire per i livelli di falda confinata o freatici, ma molto superficiali, in cui la risposta è pressoché istantanea. Rasmussen e Crawford (1997) dimostrano ad esempio come le variazioni di pressione atmosferica possono indurre variazioni negli acquiferi fino a 30 cm di ampiezza.

Vi è poi una letteratura abbondante riguardante gli effetti che il mare induce sugli acquiferi costieri, sia a causa del moto ondoso (Li e Barry, 2000; Nielsen et al, 1997) che a causa delle maree (Li e Jiao, 2002; Li et al, 2002; Jiao e Tang, 1999; Serfes, 1991; Sun, 1997; Tang e Jiao, 2001; Xia et al, 2007). Li et al (2007) ad esempio, hanno dimostrato con soluzioni analitiche, come un acquifero confinato costiero risenta chiaramente delle oscillazioni di marea, pur essendo idraulicamente disconnesso dal mare.

Ma a fissare la questione è Russel (1963) che facendo riferimento ad alcuni casi di studio, riporta una rassegna di esempi molto interessanti di variazioni dei livelli di falde confinate relazionate a diverse cause. Lo stesso riporta ovviamente esempi di quanto citato sopra, relativamente a variazioni connesse alle variazioni di pressione atmosferica, al passaggio delle onde sismiche, ma anche al passaggio di convogli ferroviari. In Fig.1 infatti si può notare questo effetto provocato in un pozzo artesiano realizzato in un acquifero in pressione, dal passaggio di diverse tipologie di treni, e quindi l'interpretazione data ai singoli eventi, come l'arrivo del treno, la partenza etc.

Sempre lo stesso Russel (1963) mostra un altro esempio in

cui le oscillazioni di livello di un acquifero artesiano posto alla base di una sequenza alluvionale (Fig.2), sono praticamente sovrapponibili, con la medesima periodicità e con solo una leggera smussatura, alle variazioni idrometriche del fiume sovrastante. Quest'ultimo esempio risulta molto simile a quanto recentemente riscontrato in alcuni piezometri che monitorano le oscillazioni dell'acquifero in pressione posto alla base della sequenza alluvionale del Tevere a Roma (La Vigna & Di Salvo, 2013). Su alcune sequenze di dati orari registrati si nota infatti come l'acquifero basale, idraulicamente isolato rispetto alla circolazione superficiale connessa con il livello idrometrico del Tevere, presenta gli stessi andamenti del fiume pressoché contemporanei, mentre l'acquifero più superficiale reagisce molto più in ritardo. Queste oscillazioni sono risultate corrispondenti

non solo in occasione di eventi di piena, ma anche in seguito alle giornaliere oscillazioni del fiume dovute alla regimazione artificiale.

Il concetto alla base di queste oscillazioni sarebbe da ricercare nel trasferimento del peso dell'acqua di piena, attraverso i pori dei sedimenti saturi superficiali fino ad arrivare all'acquifero basale in pressione, che comportandosi più o meno come un "materasso ad acqua" reagisce di conseguenza aumentando la sua pressione e variando il suo livello di falda pressoché istantaneamente.

BIBLIOGRAFIA

- Brodsky EE, Roeloffs E, Woodcock D, Gall I, Manga M (2003) A mechanism for sustained groundwater pressure changes induced by distant earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 108: B8, doi:10.1029/2002JB002321
- La Vigna F (2013) Earthquake hydrology, *Acque Sotterranee – Italian Journal of Groundwater*, Frontiere, 2:132, doi: 10.7343/AS-030-13-0055
- 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
- La Vigna F, Di Salvo C (2013) Understanding the hydrogeological flow processes in the holocene alluvial aquifers of Tiber River (Rome). *Rend. Online Soc. Geol. It.*, 24, 181-183
- Li L, Barry DA (2000) Wave-induced beach groundwater flow. *Advances in Water Resources*, 23, 325-337
- Li H, Li G, Cheng J, Boufadel MC (2007) Tide-induced head fluctuations in a confined aquifer with sediment covering its outlet at the sea floor. *Water Resources Research*, 43:W03404, doi:10.1029/2005WR004724
- Li H, Jiao JJ (2002) Analytical solutions of tidal groundwater flow in coastal two-aquifer system. *Advances in Water Resources*, 25, 417-426
- Li H, Jiao JJ, Luk M, Cheung K (2002) Tide-induced groundwater level fluctuation in coastal aquifers bounded by L-shaped coastlines. *Water Resources Research*, 38:3, doi: 10.1029/2001WR000556
- Jacob CE (1940) On the flow of water in an elastic artesian aquifer, *EOS Transactions American Geophysical Union*, 21:2, 574-586
- Jiao JJ, Tang Z (1999) An analytical solution of groundwater response to tidal fluctuation in a leaky confined aquifer. *Water Resources Research*, 35: 3, 747-751
- Matsumoto N, Kitagawa G, Roeloffs EA (2003) Hydrological response to earthquakes in the Haibara well, central Japan – I. Groundwater level changes revealed using state space decomposition of atmospheric pressure, rainfall and tidal responses. *Geophys. J. Int.* 155, 885-898
- Meinzer OE (1928) Compressibility and elasticity of artesian aquifers, *Economic Geology*, 23, 263-291
- Nielsen P, Aserevatham R, Fenton JD, Perrochet P (1997) Groundwater waves in aquifers of intermediate depths. *Advances in Water Resources*, 20:1, 37-43
- Rasmussen TC, Crawford LA (1997) Identifying and removing barometric pressure effects in confined and unconfined aquifers. *Ground Water*, 35:3, 502-511
- Russel RR (1963) *Ground-Water Levels in Illinois through 1961*. Report of investigation 45 state of illinois department of registration and education
- Serfes ME (1991) Determining the mean hydraulic gradient of groundwater affected by tidal fluctuations. *Ground Water*, 29:4, 549-555
- Sun H (1997) A two-dimensional analytical solution of groundwater response to tidal loading in an estuary. *Water Resources Research*, 33: 6, 1429-1435
- Tang Z, Jiao JJ (2001) A two-dimensional analytical solution for groundwater flow in a leaky confined aquifer system near open tidal water. *Hydrol. Process.* 15, 573-585, doi: 10.1002/hyp.166
- Taylor CJ, Alley WM (2001) *Ground-Water-Level Monitoring and the Importance of Long-Term Water-Level Data*. U.S. Geological Survey Circular 1217
- Xia Y, Li H, Boufadel MC, Guo Q, Li G (2007) Tidal wave propagation in a coastal aquifer: Effects of leakages through its submarine outlet-capping and offshore roof. *Journal of Hydrology*, 337, 249-257, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.01.036

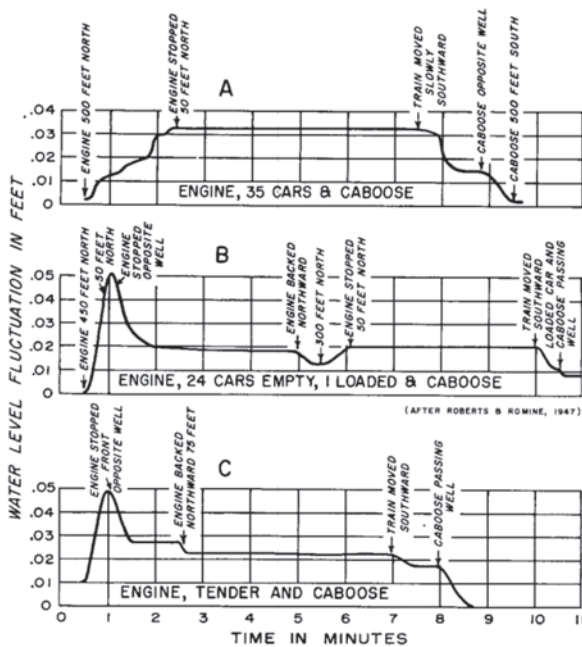


Fig. 1 - Variazioni di livello in un pozzo artesiano al passaggio di convogli ferroviari (da Russel, 1963)

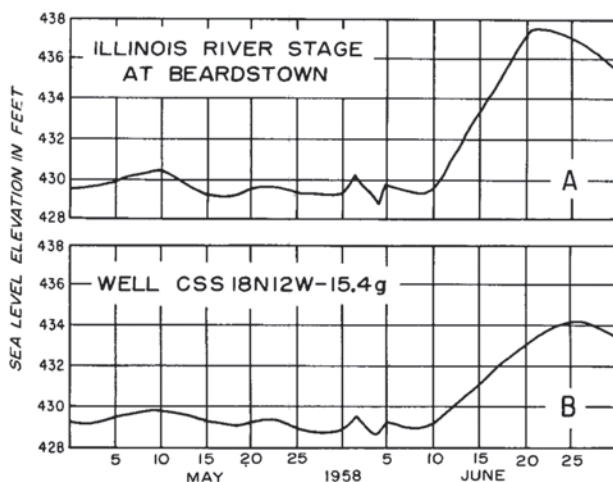


Fig. 2 - Variazioni idrometriche a confronto con le oscillazioni piezometriche di un pozzo perforato in un acquifero in pressione.