

Acque sotterranee e terremoti: alcune considerazioni sugli effetti della sismicità sulla disponibilità della risorsa idrica in Valnerina

Groundwater and earthquake: brief remarks about seismic effects on groundwater resources availability in Valnerina

Roberto Checcucci - Regione Umbria, Servizio Risorse Idriche e Rischio Idraulico, Perugia, Italy

rcheccucci@regione.umbria.it

Lucia Mastrorillo - Dipartimento di Scienze, Università degli studi Roma Tre, Largo San Leonardo Murialdo 1, Rome, Italy

lucia.mastrorillo@uniroma3.it

Daniela Valigi - Dipartimento di Fisica e Geologia, Università degli Studi di Perugia, Via Pascoli snc, Perugia, Italy

daniela.valigi@unipg.it

Keywords: *renewable water resources, groundwater reserves, earthquake hydrology, Valnerina.*

Parole chiave: : risorse idriche rinnovabili, riserve regolatrici, earthquake hydrology, Valnerina.

Il terremoto del 30 ottobre 2016 (Norcia) di magnitudo 6.5 è stato l'evento più forte della sequenza sismica iniziata con il terremoto del 24 agosto (Amatrice) di magnitudo 6.0 e che comprende anche la scossa di magnitudo 5.9 del 26 Ottobre (Visso) (INGV 2016). In particolare l'ultimo evento sismico, oltre a provocare alterazioni dell'assetto geologico strutturale dell'area e danni alle costruzioni e al patrimonio artistico della Valnerina, ha avuto importanti ripercussioni anche sugli equilibri idrodinamici degli acquiferi che alimentano le sorgenti della valle.

Il Servizio Risorse Idriche e Rischio Idraulico della Regione Umbria con misure di portata dirette e con l'ausilio della rete di stazioni idrometriche in continuo ha verificato che, a monte della confluenza con il Fiume Velino in corrispondenza della stazione idrometrica di Torre Orsina, il Fiume Nera dall'inizio della sequenza sismica ha aumentato la sua portata di circa il 50% rispetto ai valori medi estivi, con un incremento complessivo di quasi 10 m³/s (Fig.1)

La portata del Nera è sostenuta pressoché integralmente da acque di origine sotterranea: i maggiori contributi sorgivi sono distribuiti lungo gli alvei dei fiumi ("sorgenti lineari"),

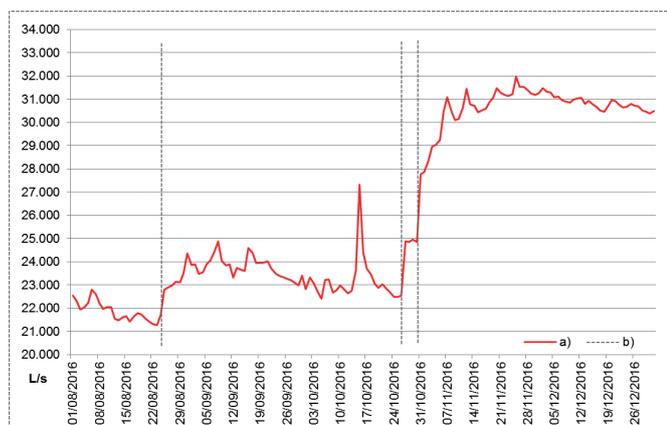


Fig. 1: Variazione delle portate del Fiume Nera a Torre Orsina in corrispondenza degli eventi della sequenza sismica agosto – ottobre 2016. a) idrogramma giornaliero; b) eventi sismici di maggiore entità.

Fig. 1: Nera River discharge variation at Torre Orsina hydrometric station during the seismic events of August and October 2016.

a) daily hydrograph; b) main seismic events.

nei tratti in cui i corsi d'acqua scorrono alla stessa quota di saturazione degli acquiferi (Boni e Petitta 1994; Boni e Ruisi 2006).

Poiché nei giorni precedenti al 30 ottobre 2016 non sono stati rilevati eventi meteorologici significativi, l'incremento di portata rilevato nel fiume Nera è da attribuire esclusivamente ad un progressivo aumento del contributo di acqua sotterranea erogata dalle sorgenti presenti nel bacino idrografico.

Inoltre i media hanno dato ampio risalto alle notizie relative alla comparsa di una nuova sorgente nella Piana di Norcia (Sorgente del Torbidone che secondo gli ultimi rilevamenti, nel gennaio 2017, ha raggiunto una portata di 1.5 m³/s) (Fig.2), e sono noti, ma non ancora quantificati, importanti incrementi di portata delle emergenze presenti nel fondo valle dell'alto Nera fra Visso e Castelsantangelo.



Fig. 2: Sorgente del Torbidone nella Piana di Santa Scolastica (Norcia Perugia).

Fig. 2: Torbidone spring in the Santa Scolastica Plain (Norcia Perugia).

Esiste una nutrita letteratura scientifica riguardante le relazioni fra eventi sismici, portate dei corsi d'acqua e acque sotterranee (Montgomery e Manga 2003; Amoroso et al. 2011; Adinolfi et al. 2012; La Vigna et al. 2012; Xiu et al. 2013; Wang and Manga 2015) e al momento, presso i principali centri di ricerca dell'Italia centrale, gruppi di studio stanno lavorando per individuare le possibili alterazioni degli equili-

bri idrodinamici e idrostrutturali, provocate dal terremoto e responsabili dei fenomeni descritti (De Luca et al. 2016).

È noto che la portata di un acquifero dipende dalla trasmissività, dal coefficiente di immagazzinamento del mezzo, dall'estensione dell'acquifero stesso e dalla differenza di carico idraulico fra la zona di ricarica e il punto di emergenza. Le ricerche in corso sono indirizzate a verificare e valutare come e quanto questi parametri, che caratterizzano idrodinamicamente un sistema, possano essere modificati dai recenti eventi sismici.

Nell'attesa di poter discutere e commentare i risultati scientifici in corso di conseguimento, è opportuno riflettere sulle possibili ripercussioni dell'attuale situazione idrogeologica sui bilanci idrici dei sistemi acquiferi coinvolti.

A prescindere dalle modalità e dalle cause della variazione delle condizioni idrodinamiche, è noto che un acquifero è in grado di erogare una portata media naturale (Risorse idriche rinnovabili) pari alla sua ricarica media (Boni et al. 1986) e che lo squilibrio indotto dal verificarsi di condizioni di erogazione di volumi d'acqua superiori a quelli mediamente ricaricati, può essere temporaneamente compensato dal parziale utilizzo di quell'aliquota delle Riserve idriche permanenti, nota come "Riserve regolatrici" (Celico 1986). Tali riserve costituiscono una "scorta" naturale dell'acquifero, impiegata dal sistema idrogeologico per compensare l'eventuale insufficienza di ricarica delle falde negli anni particolarmente siccitosi. Nel tempo tale "scorta" viene generalmente ricostituita dalle abbondanti ricariche degli anni più piovosi. La corretta utilizzazione delle "riserve regolatrici" garantisce, inoltre, la migliore efficienza delle captazioni, regolando il regime di portata delle sorgenti (Boni 1968).

L'incremento di portata del Nera (circa 10 m³/s) allo stato attuale sembrerebbe stabilizzato e, se rimanesse tale, corrisponderebbe annualmente a un volume di 300 milioni di m³, quantitativo superiore al doppio di quanto necessario per soddisfare il fabbisogno idropotabile dell'intera Umbria e pari a poco meno della metà di quanto finora mediamente erogato da tutto il sistema sorgivo della Valnerina (23 m³/s) (Boni et al. 1986,1993).

Al momento, quindi, dal sistema idrogeologico della Valnerina sta fuoriuscendo complessivamente un volume d'acqua superiore a quello mediamente ricaricato ed è inevitabile che il perdurare nel tempo di tale situazione possa comportare un significativo coinvolgimento delle "riserve regolatrici". I tempi e le possibilità di recupero di tale deficit saranno differenti per ciascun sistema idrogeologico, dipendendo sia dal volume delle riserve regolatrici immagazzinate in ciascun acquifero (funzione dell'estensione e geometria del serbatoio idrico sotterraneo), sia dalla percentuale di tali riserve già abitualmente utilizzata per stabilizzare i regimi delle sorgenti captate.

Alla luce di quanto sinteticamente illustrato, appare evidente che i cambiamenti degli equilibri dei sistemi idrici sotterranei del bacino del Nera indotti dal terremoto del 30 ottobre, potrebbero avere ripercussioni nel tempo, sull'efficienza dei sistemi di captazione delle acque sotterranee ad uso idropotabile, riducendo la quantità di risorsa idrica effettivamente disponibile alla captazione.

L'aumento di portata di alcune sorgenti di fondovalle e la comparsa di nuovi punti di erogazione come la sorgente del Torbidone, potrebbe comportare la scomparsa o la riduzione della portata delle sorgenti minori di alta quota, che alimentano prevalentemente gli acquedotti dei piccoli centri montani (Cambi e Dragoni 2000). D'altro canto le grandi sorgenti di fondovalle (che alimentano gli acquedotti regionali) pur erogando attualmente una portata media maggiore, nel futuro potrebbero presentare regimi di erogazione meno stabili, a causa dell'abbattimento del volume delle "riserve regolatrici", e quindi ridurre l'efficienza dell'opera di captazione.

Al momento tali scenari rappresentano alcune delle ipotesi evolutive, che dovranno essere verificate e quantificate, caso per caso, con un attento monitoraggio e controllo costante delle portate e dei livelli di saturazione dei sistemi idrici sotterranei. In particolare sarà decisiva la valutazione della risposta estiva degli acquiferi all'attuale fase di ricarica invernale e primaverile. A tale scopo la Regione Umbria, in attesa dei primi risultati delle ricerche in corso, in collaborazione con il sistema di Protezione Civile Nazionale sta monitorando le situazioni riconosciute vulnerabili, in tal senso per delineare un primo realistico quadro evolutivo dell'effettiva disponibilità futura della risorsa idrica.

L'analisi dei dati di portata giornaliera del Nera a Torre Orsina mette in evidenza un altro aspetto di non secondaria importanza che allo stato attuale è possibile solo segnalare. Prima dell'incremento di portata di circa 3 m³/s registrato poche ore dopo l'evento sismico del 30 ottobre 2016, è stato registrato un precedente incremento delle portate, di circa 2 m³/s a partire già dal giorno 27 ottobre (tre giorni prima del sisma di Norcia del 30 ottobre, e il giorno dopo il sisma di Visso del 26 ottobre).

In accordo con i risultati presentati in letteratura, che riconoscono il repentino aumento della portata del fiume come uno dei principali effetti del terremoto (Manga et al 2003; Manga e Roland 2009), l'incremento di 2 m³/s registrato nel Nera fra la scossa del 26 e quella del 30 ottobre, sembrerebbe attribuibile alla "risposta cosismica" degli acquiferi dell'alta Valnerina al primo dei due eventi. D'altronde, lo stesso incremento potrebbe essere teoricamente interpretabile anche come un "fenomeno precursore" della successiva scossa. E' indiscutibile, comunque, che la proposta di qualsiasi ipotesi interpretativa, debba necessariamente essere preceduta da un'attenta verifica delle dinamiche di esercizio del complicato sistema di derivazioni a scopo idroelettrico che caratterizza tutto il corso del fiume Nera.

Le differenti possibilità interpretative evidenziano l'importanza strategica del coordinamento fra Enti tecnici di regioni differenti per un monitoraggio efficace e significativo dell'evoluzione nel tempo del fenomeno descritto. Il territorio del bacino del Nera a monte di Visso ricade all'interno dei confini amministrativi della Regione Marche e il confronto degli idrogrammi di portata registrati dai Servizi Idrografici delle due regioni (Umbria e Marche) costituisce il punto di partenza per qualsiasi interpretazione. Inoltre non è più derogabile l'impegno da parte degli Amministratori regionali di poten-

ziare le reti di controllo delle acque sotterranee migliorandone la distribuzione territoriale, garantendone la continuità funzionale e soprattutto adeguando la strumentazione al monitoraggio di tutte quelle grandezze interpretabili come possibili risposte idrogeologiche alle molteplici avversità ambientali di differente natura (siccità, inquinamento, attività sismica, ecc.).

Mai come in questa circostanza, inoltre l'attuale situazione idrogeologica della Valnerina può costituire il punto di incontro di quella tanto reiterata collaborazione fra ricercatori ed enti gestori della risorsa, al fine di coniugare il progresso della ricerca scientifica con l'efficace soluzione di problemi di pianificazione e gestione della risorsa idrica sotterranea.

In campo internazionale fra le varie discipline idrogeologiche, lo sviluppo dell' *earthquake hydrology* ha acquisito ormai un'esperienza pluridecennale (Rojstaczer e Wolf 1992; Muir-Wood e King 1993); in Italia, nonostante l'abbondanza delle risorse idriche sotterranee e la frequenza di terremoti, il riconoscimento di questa specifica competenza come indirizzo scientifico autonomo tarda ad affermarsi (La Vigna 2013), pur non mancando pubblicazioni scientifiche autorevoli relative anche ad eventi sismici storici (Oddone 1915; Celico 1981; Molin et al 2003; Adinolfi et al 2012; La Vigna et al 2012).

L'auspicio conclusivo è quello di partire dall'ultima importante sequenza sismica dell'Appennino per sviluppare una *Italian Earthquake Hydrology* che aspiri non solo a raggiungere le moderne frontiere della ricerca idrogeologica, ma sia in grado di fornire strumenti applicativi per la pianificazione della risorsa idrica.

BIBLIOGRAFIA

- Adinolfi Falcone R, Carucci V, Falgiani A, Manetta M, Parisse B, Pettita M, Rusi S, Spizzico M, Tallini M (2012) Changes on groundwater flow and hydrochemistry of the Gran Sasso carbonate aquifer after 2009 LAquila earthquake. *Ital. J. Geosci.* 131,3:459-474. doi: 10.3301/IJG.2011.34
- Amoruso A, Crescentini L, Pettita M, Rusi S, Tallini M (2011) Impact of the 6 April 2009 LAquila earthquake on groundwater flow in the Gran Sasso carbonate aquifer, Central Italy. *Hydrol. Process.* 25, 1754-1764. doi: 10.1002/hyp.7933
- Boni C F (1968) Utilizzazione delle riserve idriche permanenti per regolare il regime delle sorgenti di trabocco "Utilization of permanent water resources to regulate the overflow spring discharge". *Geol. Rom.*, 7:405-415
- Boni C, Bono P, Capelli G (1986) Schema idrogeologico dell'Italia centrale "Hydrogeological scheme of Central Italy". *Mem Soc Geol It* 35(2):991-1012.
- Boni C, Pettita M (1994) Sorgenti lineari e valutazione dell'infiltrazione efficace in alcuni bacini dell'Italia centrale "Linear springs and evaluation of effective infiltration of some river basin of central Italy". *Quaderni di geologia applicata*, 1:99 - 113. Pitagora Bologna.
- Boni C, Pettita M, Preziosi B, Sereni M (1993) Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio "Origin and flow regime of continental water in Lazio Region" CNR Ufficio Pubblicazioni e informazioni Scientifiche. Roma
- Boni C., Ruisi M. (2006) Le grandi sorgenti che alimentano il corso del fiume Nera - Velino: una importante risorsa strategica nell'economia dell'Italia centrale "The major springs of Nera - Velino basin: a considerable strategic asset with a great economic value for the Central Italy". In: Atti del convegno "Le condizioni dei fiumi italiani". VI Giornata dell'Acqua. 22 marzo 2006. Roma.
- Cambi C. & Dragoni W. (2000) Groundwater yield, climatic changes and recharge variability: considerations arising from the modelling of a spring in the Umbria-Marche Apennines. *Hydrogéologie*, 4:11-25.
- Celico P. (1981) Relazione tra idrodinamica sotterranea e terremoti in Irpinia (Campania) "Relationship between groundwater hydrodynamic and earthquake in Irpinia". *Rend. Soc. Geol. It.*, 4, 103-108.
- Celico P (1986) Prospezioni idrogeologiche "Hydrogeological exploration" Voll. Liguori Ed. Napoli
- De Luca G, Di Carlo G, Tallini M (2016) Hydraulic pressure variations of groundwater in the Gran Sasso under-ground laboratory during the Amatrice earthquake of August 24, 2016. *Annals of Geophysics*, 59, FAST TRACK 5. doi: 10.4401/AG-7200
- INGV Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016). Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016. "Summary document about the 30 October 2016 Central Italy Earthquake" doi: 10.5281/zenodo.166019
- La Vigna F (2013) Earthquake hydrology *Italian Journal of Groundwater* 2/2013:45-46. doi:10.7343/AS-030-13-0055
- La Vigna F, Carucci V, Mariani I, Minelli L, Pascale F, Mattei M, Mazza R, Tallini M (2012) Intermediate-field hydrogeological response induced by LAquila earthquake: the Acque Albule hydrothermal system (Central Italy). *Ital. J. Geosci.* 131,3:475-485. doi: 10.3301/IJG.2012.05
- Manga M, Brodsky E E, Boone M (2003) Response of streamflow to multiple earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 30,5:18 1-5. doi:10.1029/2002GL016618, 2003
- Manga M, Rowland J C (2009) Response of Alum Rock springs to the October 30, 2007 Alum Rock earthquake and implications for the origin of increased discharge after earthquakes. *Geofluids* 9,237-250. doi: 10.1111/j.1468-8123.2009.00250.x
- Manga M., Wang CY (2015) Earthquake Hydrology. In: Gerald Schubert (editor-in-chief) *Treatise on Geophysics*, 4:305-328. Elsevier
- Molin P., Acocella V., Funicello R. (2003) Structural seismic and hydrothermal features at the border of an active intermittent block: Ischia island (Italy). *J. Volc. Geoth. Res.*, 121, 65-81.
- Montgomery D R, Manga M (2003) Streamflow and Water Well Responses to Earthquakes *Science* 300 (5628), 2047-2049. doi: 10.1126/science.1082980
- Muir-Wood R, King G C P (1993) Hydrological signatures of Earthquake Strain. *Journal of Geophysical Research* 98,B12: 22,035 - 22,068
- Oddone E. (1915) Gli elementi fisici del grande terremoto marsicano fucense del 13 gennaio 1915 "The physical elements of the 13 January 1915 earthquake in Marsica and Fucino regions". *Boll. Soc. Sism. It.*, 19, 71-217.
- Rojstaczer S, Wolf S (1992) Permeability changes associated with large earthquakes. An example from Loma Prieta, California. *Geology* 20:211-214.
- Xue L, Li H B, Brodsky E E, Xu Z Q, Kano Y, Wang H, Mori J J, Si J L, Pei J L, Zhang W, Yang G, Sun Z M, Huang Y (2013) Continuous Permeability Measurements Record Healing Inside the Wenchuan Earthquake Fault Zone. *Science* 340:1555-1559. doi: 10.1126/science.1237237