

Individuare il comportamento di acquiferi carsici complessi: la sorgente di Bossea

Original

Individuare il comportamento di acquiferi carsici complessi: la sorgente di Bossea / Pansa, Alessandro; Butera, Ilaria; Gómez-Hernández, J. Jaime; Vigna, Bartolomeo. - ELETTRONICO. - (2022), pp. 1-4. (XXXVIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Reggio Calabria, 4-7 settembre 2022 Ingegneria delle acque: cambiamenti globali e sostenibilità Reggio Calabria 4-7 Settembre 2022).

Availability:

This version is available at: 11583/2972501 since: 2022-10-21T10:22:11Z

Publisher:

Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

INDIVIDUARE IL COMPORTAMENTO DI ACQUIFERI CARSIICI COMPLESSI: LA SORGENTE DI BOSSEA

Alessandro Pansa ^{1*}, Ilaria Butera ², J. Jaime Gómez-Hernández ³ & Bartolomeo Vigna ²

(1) Dipartimento di Matematica, Università degli studi di Torino (Torino)

(2) Dipartimento di Ingegneria per l'Ambiente il Territorio e le Infrastrutture, Politecnico di Torino (Torino)

(3) Institute for Water and Environmental Engineering, Universitat Politècnica de València (València)

*email: alessandro.pansa@unito.it

ASPETTI CHIAVE

- Elaborazione di un modello idrogeologico basato sulla convoluzione degli idrogrammi e sulla formula razionale per il sistema carsico di Bossea-Artesinera
- Stima dei parametri del modello tramite Ensemble Smoother with multiple data assimilation a scala di evento
- Analisi dei risultati a scala di evento per ottenere un modello predittivo del sistema

1 INTRODUZIONE

Gli acquiferi carsici sono una fonte di acqua di primaria importanza e molti sforzi sono stati fatti per studiare il comportamento complesso dei sistemi carsici (e.g. Hartmann, et al., 2015). In questo lavoro si prende in considerazione il sistema carsico delle grotte di Bossea in provincia di Cuneo e sulla base dei dati di portate della sorgente e delle altezze di precipitazione/neve si individua il comportamento dell'acquifero. Allo scopo viene applicato l'algoritmo denominato *Ensemble Smoother with multiple data assimilation*. Il problema esaminato è rilevante in uno scenario di cambiamenti climatici per valutare la risposta della sorgente di fronte a variazioni del regime idrologico.

2 IL SISTEMA CARSIICO DELLE GROTTI DI BOSSEA

La Grotta di Bossea (Figura 1) si trova nel comune di Frabosa Soprana, in Provincia di Cuneo. L'ingresso della grotta si apre in prossimità della frazione Fontane, in Val Corsaglia, a quota 836 m sul livello del mare. I saloni e le gallerie nella prima parte della grotta sono impostati in corrispondenza di un contatto tettonico tra le metavulcaniti permiane e la successione carbonatica mesozoica. La struttura carbonatica è costituita da una fascia di calcari marmorei, lateralmente confinata dalle rocce a bassa permeabilità del basamento metamorfico (metavulcaniti e quarziti), da una serie di faglie sub-verticali. La morfologia dell'area è costituita da profondi valloni assorbenti impostati in corrispondenza di tali discontinuità tettoniche. Lungo tali valloni sono presenti una serie di inghiottitoi in subalveo che assorbono le acque ruscellanti lungo i versanti impostati nelle rocce del basamento. Una serie di test con traccianti artificiali hanno evidenziato i collegamenti tra questi punti di infiltrazione e il collettore carsico di Bossea. Le velocità di flusso calcolate con le colorazioni hanno fornito valori variabili tra 1.200 e 600 m/giorno. Una descrizione accurata della situazione idrostrutturale del sistema si può trovare in Antonellini, et al., (2019).

La presenza del Mar Mediterraneo, distante circa 40 km in linea d'aria, influenza fortemente il clima delle Alpi Liguri attraverso l'afflusso di masse d'aria di origine marina e cariche di umidità. Queste determinano abbondanti nevicate nel periodo invernale e primaverile, mentre in estate e in autunno si declinano in violenti temporali con precipitazioni abbondanti, tempi ristretti e talvolta grandinate. Il periodo estivo tende ad essere il più asciutto, sebbene le precipitazioni siano comunque presenti, quindi di norma non siccitoso. Nel mese di agosto la nebbia può persistere in maniera prolungata nell'area di assorbimento del sistema. Le precipitazioni seguono un andamento tipicamente mediterraneo, con massimi nel periodo estivo ed in quello autunnale.

Poco distante dall'ingresso della grotta è situata la stazione meteorologica Borello di ARPA Piemonte, in grado di fornire dati di temperatura dell'aria e di precipitazione: altezza di precipitazione o il contributo di fusione nivale in millimetri d'acqua equivalenti di neve. All'interno della grotta si trovano tre laboratori di ricerca finalizzati allo studio dell'idrogeologia carsica, del clima sotterraneo e della radioattività naturale gestiti dal DIATI del Politecnico di Torino e dal Laboratorio carsologico di Bossea, del Comitato scientifico

del CAI centrale. Il laboratorio di idrogeologia carsica gestisce un complesso sistema di monitoraggio dove a partire dal 1984 viene rilevata la portata del collettore principale (Torrente Mora) e più recentemente di oltre 10 apporti secondari legati alla percolazione della zona “non satura” del sistema. I dati di portata, temperatura e conducibilità elettrica delle acque vengono acquisiti con intervallo di 15 minuti e trasmessi in tempo reale ad un server ubicato presso l’ingresso della cavità.

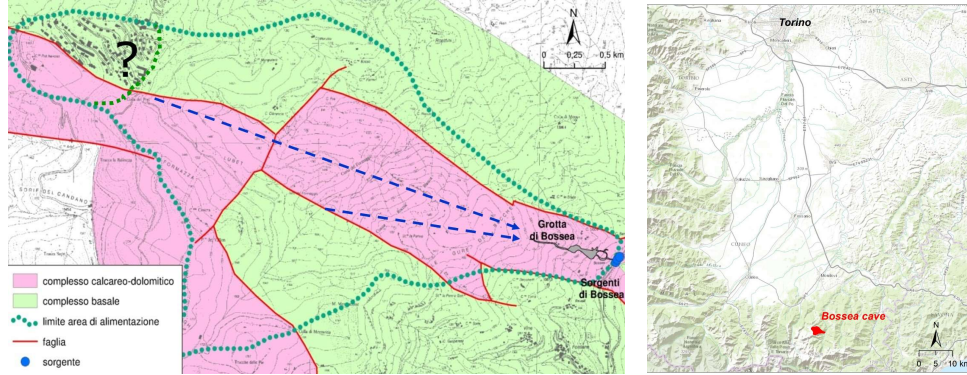


Figura 1: Il bacino di alimentazione del sistema carsico di Bossea. In tratteggio blu collegamenti accertati con traccianti. L’area contrassegnata da “?”, precedentemente indicata come parte del bacino, non è più considerata tale in seguito a recenti test.

3 METODO

Il modello idrologico utilizzato si basa sul metodo di convoluzione degli idrogrammi (Sherman, 1932), l’alimentazione efficace viene calcolata con formula razionale (Kuichling, 1889), inoltre viene tenuto conto del contributo della fusione nivale e di un deflusso di base iniziale $Q_b [L^3 T^{-1}]$:

$$Q(t) = Q_b(t) + \int_0^t [\chi(t) \cdot A \cdot (i(t) + Sn(t))] \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (1)$$

dove $\chi(t)[-]$ è il coefficiente di infiltrazione su base giornaliera, $A [L^2]$ l’area di infiltrazione, $i(t)[LT^{-1}]$ l’intensità di pioggia, $Sn(t)[LT^{-1}]$ il contributo di fusione nivale in millimetri d’acqua equivalenti, $h(t)[-]$ la funzione di trasferimento, o IUH, del sistema.

Il coefficiente di infiltrazione $\chi(t)$ viene considerato come un vettore di valori giornalieri di lunghezza pari alla durata dell’evento.

Per quanto riguarda fusione nivale $Sn(t)$ si identificano innanzitutto gli eventi precipitativi nevosi sulla base della temperatura dell’aria, tale contributo viene poi ridistribuito nel tempo grazie ad una forma parametrica del tipo:

$$Sn(t) = \frac{\Sigma_s}{2\sqrt{2\pi b_1^2}} \cdot e^{-\frac{(t-a_1)^2}{2b_1^2}} + \frac{\Sigma_s}{2\sqrt{2\pi b_2^2}} \cdot e^{-\frac{(t-a_2)^2}{2b_2^2}} \quad (2)$$

dove Σ_s è la precipitazione cumulata misurata allo strumento.

La funzione di trasferimento $h(t)$ viene espressa tramite formula parametrica:

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi v_1^2}} \cdot e^{-\frac{(t-m_1)^2}{2v_1^2}} + \frac{1}{v_2} \cdot e^{-\frac{t}{m_2}} \quad (3)$$

e da ultimo, il deflusso di base Q_b viene calcolato con formula esponenziale:

$$Q_b(t) = Q_g(0) \cdot e^{-q_2 \cdot t} \quad (4)$$

con $Q_g(0)$ portata misurata al primo giorno di osservazioni.

È quindi possibile costruire un vettore rappresentante lo stato del sistema contenente i parametri, incogniti, descrittivi dei diversi componenti:

$$x = [m_1, v_1, m_2, v_2, a_1, b_1, a_2, b_2, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{N_T}, q_2] \quad (5)$$

dove N_T è la durata dell'evento di piena analizzato.

4 RISULTATI

L'obiettivo dell'analisi è la valutazione dei parametri della espressione (5) per definire la funzione di trasferimento, cioè il comportamento del sistema. Si tratta di un problema inverso, cioè note le portate e le altezze di precipitazione stimare i restanti parametri dell'equazione (1). A tale scopo è stato adottato *l'Ensemble Smoother with multiple data assimilation* (Emerick & Reynolds, 2013), metodologia derivata dall'*Ensemble Kalman Filter* (Evensen, 2003). In tal modo è possibile convergere ad una stima dello stato del sistema, rappresentato da (5) tramite assimilazione dei dati di portata misurati in uscita dal sistema carsico.

4.1 Analisi degli eventi

Si è deciso di analizzare gli eventi di piena su scala stagionale, vista la notevole differenza nella risposta tra le massime primaverili, dovute principalmente alla fusione nivale, e quelle autunnali, in risposta a eventi precipitativi temporaleschi. I dati disponibili sono dal 2001 al 2018

In tal senso il metodo è stato in grado di fornire risultati più che soddisfacenti. Tali risultati sono stati valutati grazie al coefficiente di Nash-Sutcliffe (NSE), (e.g. Nash & Sutcliffe, 1970), con valori sempre al di sopra di 0.9. In Figura 2 si riporta l'analisi per l'evento del 2017. Si nota un'ottima ricostruzione delle portate, anche nei valori di picco. In totale sono stati esaminati 15 eventi primaverili e 12 eventi autunnali.

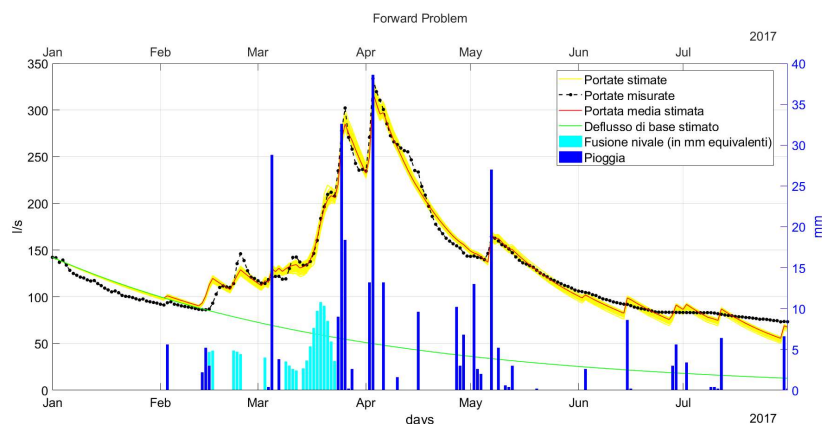


Figura 2: Esempio di evento analizzato (primavera 2017). La linea tratteggiata a pallini neri indica le portate misurate, le linee gialle l'insieme delle soluzioni stimate, in rosso la loro media, le barre blu sono la precipitazione misurata, quelle azzurre il contributo di fusione nivale stimata.

4.2 Il modello di previsione

Per quanto la descrizione del singolo evento risulti molto buona, il sistema presenta una forte variabilità tra un evento e l'altro. È quindi possibile stimare una serie di parametri generale e in grado di descrivere adeguatamente il sistema? L'ultima parte di questo lavoro si propone di rispondere a questa domanda.

In totale sono stati analizzati 27 eventi di piena, i cui parametri stimati sono stati utilizzati per calcolare una "firma" tipica del sistema.

La funzione di trasferimento $h(t)$ è stata analizzata suddividendo gli eventi su base stagionale, da cui si è potuto ottenere un IUH tipico autunnale ed uno primaverile, quale media degli IUH. Il coefficiente di infiltrazione presenta andamenti ricorrenti su base annuale, per tale motivo si è calcolato un valore medio giornaliero, a cui fanno da margine lo stesso valore più o meno la deviazione standard dei valori stimati per lo stesso giorno. Per quanto riguarda il deflusso di base e la fusione nivale è stata utilizzata la mediana dei valori stimati per i parametri regolatori.

Tale metodo è stato testato su molteplici eventi e presenta una capacità di previsione non trascurabile, i valori di NSE risultano consistentemente maggiori di 0 in termini generali (NSE maggiore di zero in 23 eventi

su 27, la media dei valori positivi è pari a 0.62). In Figura 3 si riporta la ricostruzione dell'evento primaverile del 2004 attraverso il comportamento medio individuato. La ricostruzione è buona, ovviamente meno dettagliata di quella riportata in Figura 2.

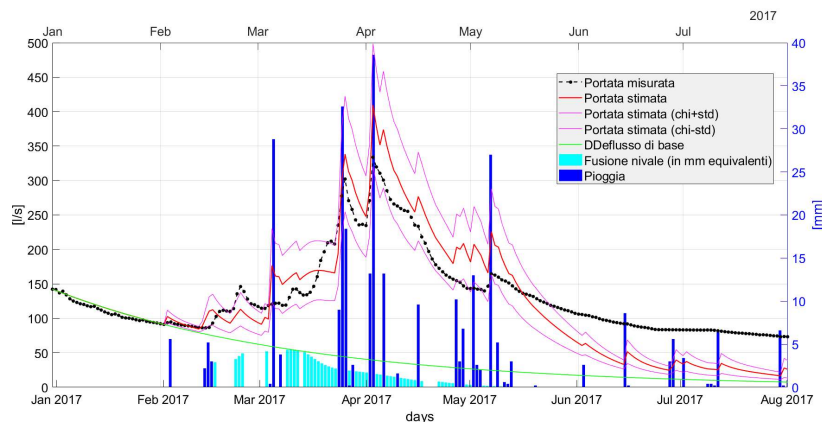


Figura 3: Esempio di evento ricostruito grazie alla “firma” del sistema (primavera 2004). Le portate misurate sono rappresentate dalla linea nera. In rosso la risposta media, in magenta la stessa ma con valori limite di coefficiente di infiltrazione, in verde il deflusso di base. Le barre blu rappresentano la precipitazione misurata, in azzurro la fusione nivale stimata.

5 CONCLUSIONI

La notevole complessità del sistema carsico, caratterizzato da una circolazione in parte impostata nei collettori principali caratterizzati da una elevata carsificazione ed in parte in un complesso ed esteso reticolo di discontinuità con una carsificazione molto ridotta rendono il modello applicato per alcuni aspetti ancora impreciso. Tuttavia le analisi, non tutte riportate in questa nota per motivi di spazio, indicano che il metodo coglie aspetti salienti del sistema: una risposta più lunga nel tempo in primavera, legata prevalentemente ai processi di fusione nivale (apporti giornalieri modesti ma prolungati nel tempo), più impulsiva in autunno in seguito alle intense precipitazioni piovose. Sulla base dei dati di monitoraggio sia dei parametri idrodinamici sia di quelli chimico-fisici delle acque, risulta di notevole importanza la trasmissione delle pressioni idrauliche nella rete delle discontinuità che interessano estesamente l'intero massiccio e nei condotti “a pieno carico” della zona saturata del sistema.

Gli autori si augurano che ulteriori ricerche permettano di raffinare il metodo, portando ad una capacità di previsione ulteriormente migliorata e sottolineano la grande importanza del sistema di monitoraggio delle diverse componenti idrogeologiche (zona saturata-insaturata, collettori carsici-discontinuità dell'ammasso roccioso) che concorrono alla formazione della risorsa sotterranea.

6 RIFERIMENTI

- Antonellini, M., Nannoni, A., Vigna, B. & De Waele, J., 2019. Structural control on karst water circulation and speleogenesis in alithological contact zone: The Bossea cave system (Western Alps, Italy). *Geomorphology*, Volume 345, p. 106832.
- Emerick, A. A. & Reynolds, A. C., 2013. Ensemble smoother with multiple data assimilation. *Computers & Geosciences*, Volume 55, p. 3–15.
- Evensen, G., 2003. The Ensemble Kalman Filter: theoretical formulation and practical implementation. *Ocean Dynamics*, 53(53), p. 343–367.
- Hartmann, A. et al., 2015. Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches. *Reviews of Geophysics*, July, 22(52), p. 2018–242.
- Kuichling, E., 1889. The Relation between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts. *Transactions of ASCE*.
- Nash, J. E. & Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), p. 282–290.
- Sherman, L., 1932. Stream Flow from Rainfall by the Unit Graph Method. *Engineering News Record*, pp. 501-502.