



Analyzing Q-SSC Hyssteresis Through  
Hysteresis Index in an Intermittent River:  
Celone (Puglia, SE Italy)

---

Raffaele Di Pillo, Anna Maria De Girolamo and  
Maria Teresa Todisco

EasyChair preprints are intended for rapid  
dissemination of research results and are  
integrated with the rest of EasyChair.

December 12, 2022

# ANALISI DELL' ISTERESI Q-SSC MEDIANTE L'HYSTERESIS INDEX IN UN FIUME INTERMITTENTE: IL CELONE (PUGLIA, ITALIA)

Raffaele Di Pillo <sup>1\*</sup>, Anna Maria De Girolamo <sup>2</sup> & Maria Teresa Todisco <sup>1</sup>

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura ed Ambientale, Università degli studi dell'Aquila (L'Aquila)

(2) Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche (Bari)

\*email: raffaeledipillo@live.com

## ASPETTI CHIAVE

- *Analisi a scala di evento delle dinamiche di trasporto di solidi in sospensione in fiumi intermittenti*
- *L'isteresi Q-SSC come strumento di identificazione delle "source areas"*
- *Analisi dei cicli di isteresi tramite l'Hysteresis index (HI)*

## 1 PREMESSA

Nei corsi d'acqua intermittenti della regione del Mediterraneo, caratterizzati da lunghi periodi asciutti susseguiti da piene improvvise (flash floods) il regime idrologico gioca un ruolo fondamentale nel trasporto di sedimenti, in particolare della frazione in sospensione (De Girolamo et al. 2018). La quantificazione del carico totale trasportato dai corsi d'acqua intermittenti è strettamente legata alle dinamiche di trasporto a scala di evento, in quanto, come ampiamente documentato (Alexandrov et al. 2007; De Girolamo et al. 2015), la maggior parte del carico solido viene veicolato proprio durante gli eventi di piena.

Le relazioni tra la portata (Q) e la concentrazione di solidi in sospensione (SSC) sono non-lineari. A scala di evento, l'analisi dell'isteresi Q-SSC può fornire rilevanti informazioni attraverso lo studio della forma, ampiezza e verso dei cicli (loops) (Evans and Davies 1998).

Una analisi organica dei cicli di isteresi Q-SSC a scala di evento richiederebbe, nei casi più generali, misurazioni ad elevata frequenza di Q e SSC o in alternativa di torbidità. Le campagne di monitoraggio sono costose e per tale ragione la maggior parte dei bacini medio-piccoli della regione del Mediterraneo risultano spesso non strumentati o presentano strumentazioni non in grado di fornire un set di dati abbastanza esteso da effettuare tali studi.

Negli ultimi anni sono state sviluppate tecniche di analisi dell'isteresi Q-SSC basate su indici (Loyd et al. 2016, Butturini et al. 2008). Tale approccio permette una robusta descrizione quali-quantitativa dell'isteresi, attraverso il calcolo di un indice, l'Hysteresis Index (HI), adimensionale ed estrapolabile anche da un set di dati relativamente poco esteso, ma comunque rappresentativo dell'evento di piena osservato. L'HI rende, inoltre, possibile sia il confronto tra differenti eventi dello stesso bacino sia quello tra differenti bacini.

Il presente studio si propone l'obiettivo di analizzare l'isteresi Q-SSC osservata negli eventi di piena registrati durante un anno di campionamento (2010-2011) nel torrente Celone (Puglia) mediante l'indice di isteresi HI proposto da Lawler et al. (2006). A tal fine sono stati utilizzati dati di Q in continuo e misure discrete di SSC.

Il valore dell'HI, in modulo ed il segno positivo o negativo hanno fornito indicazioni sulla dinamica di trasporto dei sedimenti e sulla localizzazione delle aree maggiormente propense al loro rilascio, mentre l'inversione del valore dell'indice HI da positivo a negativo o viceversa, osservato durante differenti eventi successivi, sono indicativi di meccanismi quali la rimobilizzazione e il progressivo esaurirsi di sedimenti disponibili.

## 2 AREA DI STUDIO

L'area di studio è costituita dal bacino del torrente Celone, a monte della sezione "Masseria Pirro" ove è stata installata la strumentazione di misura per l'osservazione delle portate ed il campionamento automatico dei solidi trasportati in sospensione.

L'area del suddetto bacino si estende per circa 72 km<sup>2</sup> ed è compresa tra i territori dei comuni di: Faeto, Troia, Lucera e Celle di San Vito. Il torrente Celone nasce alle pendici del monte S.Vito (1015 m.s.l.m.), nel Subappennino Dauno, confluendo nell'invaso "Capaccio", successivamente, dopo aver attraversato un tratto vallivo nel tavoliere delle Puglie, si immette in destra idrografica nel fiume Candelaro.

L'altitudine media dell'area è di circa 386 m. s.l.m. e varia in un range compreso tra i 218 ed i 1142 m.s.l.m. l'alveo ha una pendenza media del 4,47%, il reticolo idrico si estende per circa 81 km, mentre l'asta fluviale principale ha una lunghezza di circa 25 km.

L'uso del suolo è prevalentemente agricolo, caratterizzato da colture di tipo seminativo (55%), mentre oliveti (8%) e pascoli (6%) sono presenti in percentuale minore. Nella parte montana sono presenti aree boschive (29%), la parte urbanizzata è esigua (2%).

Il clima è tipicamente mediterraneo, con piogge concentrate nei mesi invernali e primaverili (novembre - aprile) e temperature medie che vanno dai 3°C (gennaio) ai 30°C (agosto).



**Figura 1.** Area di studio: (a) bacino del torrente Celone a monte dell'invaso, (b) stazione di misura e strumentazione, (c) pendenza media nel bacino del torrente Celone

## 3 MATERIALI E METODI

La campagna di monitoraggio è stata eseguita in una sezione a geometria regolare del torrente Celone, situata ad 8 km a monte dell'invaso di Torrebianca sul Celone nei pressi della Masseria Pirro (Fig.1b). Sono state registrate misure di Q in continuo, attraverso un misuratore ISCO 750 Area Velocity Flow Module, cui era collegato un campionatore automatico ISCO 6712FS che permetteva il campionamento di campioni di acqua ad intervalli di tempo che variavano da 15min a 2h durante la fase ascendente dell'idrogramma di piena, rising limb, e dalle 2 alle 24h durante il tratto discendente, falling limb (De Girolamo et al. 2015). Le determinazioni analitiche di SSC sono state condotte nei laboratori IRSA-CNR (De Girolamo et al. 2015). Nel periodo luglio 2010-luglio 2011 sono stati osservati 23 eventi di piena su cui sono state condotte le analisi dei cicli di isteresi Q-SSC.

### 3.1 La determinazione dell'HI index

La classificazione grafica in termini di isteresi, ossia dei dati di SSC vs. i dati di Q nel tempo, ha permesso di osservare differenti cicli.: (i) *clockwise loops*, dove il picco della curva di SSC precede il picco di Q, tale dinamica è spesso riconducibile alla movimentazione di sedimento subito disponibile nel letto del fiume che poi va ad esaurirsi durante l'evento; (ii) *anti-clockwise loops*, ovvero il picco della curva di SSC segue il picco della curva di Q, indice della movimentazione di sedimenti provenienti da aree distanti rispetto

alla stazione di misura; (iii) *8-shaped* o *mixed-shaped loops*, in cui entrambi i meccanismi *clockwise* e *anticlockwise* vengono rilevati, generalmente questo tipo di isteresi è propria di eventi di piena in cui vengono registrati picchi multipli di portata, dando luogo a fenomeni di rimobilizzazione o esaurimento di sedimenti; (iv) *complex-shaped loops*, per i quali non è possibile identificare una dinamica univoca tra Q e SSC.

Una trattazione organica dei cicli di isteresi così definiti è stata riportata da *De Girolamo et al. 2015*. Nel presente lavoro viene proposta una classificazione *index-based* dell'isteresi misurata durante i 23 eventi di piena campionati. Tale classificazione, basata sull'indice proposto da *Lawler et al. 2006* prevede:

La determinazione del *midpoint* dell'evento di piena come:

$$Q_{mid} = 0,5(Q_{max} - Q_{min}) + Q_{min} \quad (1)$$

Dove  $Q_{min}$  e  $Q_{max}$  sono il valore iniziale e di picco dell'evento di piena considerato. La  $Q_{mid}$  così determinata consentirà di riconoscere due valori di SSC, sul tratto ascendente dell'idrogramma e su quello discendente  $SSC_{RL}$  e  $SSC_{FL}$  rispettivamente, a questo punto avremo:

$$HI = \left( \frac{SSC_{RL}}{SSC_{FL}} \right) - 1; SSC_{RL} > SSC_{FL} \quad (2)$$

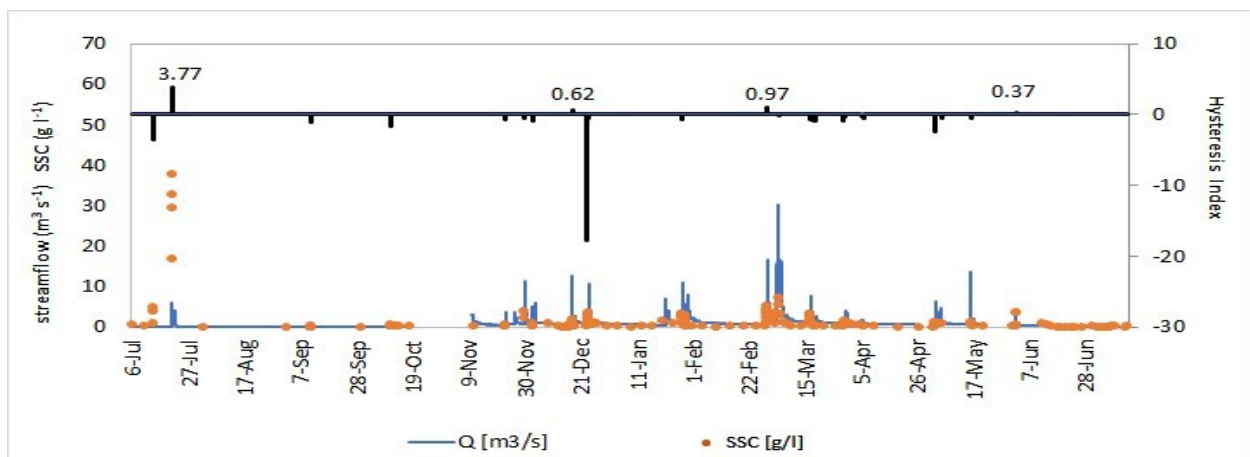
Ovvero:

$$HI = \left( \frac{-1}{SSC_{RL}/SSC_{FL}} \right) + 1; SSC_{RL} < SSC_{FL} \quad (3)$$

In tal modo, la magnitudo in valore assoluto dell'indice indicherà l'asincronia ovvero il ritardo tra i picchi di Q ed SSC, il valore positivo o negativo dell'indice identificherà rispettivamente cicli orari o antiorari. Cicli di tipo misto o complessi potrebbero essere di difficile interpretazione, tuttavia meccanismi di ri-sospensione, esaurimento o diluizione possono comunque essere descritti con tale approccio

#### 4 RISULTATI E DISCUSSIONE

L'analisi dei 23 eventi di piena campionati riportato in Fig.2 mostra la prevalenza di meccanismi di isteresi del tipo negativo, *anti-clockwise* (19 su 23). Solo 4 eventi su 23 hanno mostrato una isteresi di tipo positivo, *clockwise*.



**Figura 2.** Timeline della misurazione di portata Q(t) e delle SSC registrate da luglio 2010 a Luglio 2011 (in basso) e dell'HI calcolato per i 23 eventi di piena campionati (in alto)

Il range dei valori di HI calcolati è risultato compreso tra 3,77 e 0,32 per gli eventi con HI positivi, e tra -17,8 e -0,02 per gli eventi con HI negativo. Dai risultati è emerso che, prevalentemente, per il Celone si configura un meccanismo di trasporto distale dei sedimenti, provenienti prevalentemente dalla parte alta del bacino. L'estensione del bacino, inoltre, giustifica il valor medio dell'indice di isteresi che tende ad assestarsi intorno a -1, mentre quando la superficie del suolo risultava coperta da colture il valore dell'HI assumeva valori prossimi allo zero.

Il massimo valore positivo di HI (3,77) è stato calcolato a Luglio 2010 in concomitanza del massimo valore di concentrazione di solido sospeso osservato (37,6 g/l). Durante gli eventi di piena a picchi multipli osservati nella stagione umida (il 24/12/2010 ed il 29-30/03/2011) è stato osservato un trend decrescente nel valore dell'indice HI, associato al fenomeno di diluizione del sedimento dovuto all'aumento del baseflow.

Una inversione del comportamento isteretico del bacino, da negativo a positivo, è stata osservata a luglio 2010, nella stagione secca, quando a seguito di un evento di bassa intensità ( $Q_{max} = 0,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) i sedimenti sono stati trasportati in alveo per poi poter essere rimobilitati in concomitanza della successiva piena ( $Q_{max} = 5,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Sono state osservate anche due inversioni dell'isteresi da positiva a negativa, a dicembre 2010 e marzo 2011, indice dell'esaurimento delle fonti di sedimento a causa del susseguirsi degli eventi di piena.

## 5 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si è fornita una valutazione dell'isteresi Q-SSC osservata in un corso d'acqua intermittente, il Celone (Puglia, Italia), tramite uno specifico indicatore, l'HI. Nonostante tale approccio comporti la perdita di informazioni legate all'interpretazione dell'ampiezza e della forma della curva di isteresi, propria di una completa trattazione teorica, numerose sono le indicazioni che possono essere desunte dall'entità e dal valore dell'HI, che riguardano la localizzazione delle source areas ed i meccanismi di rimobilitazione esaurimento e diluizione dei sedimenti. Dei 23 eventi osservati, 19 hanno mostrato una isteresi negativa, indicando un meccanismo di trasporto ritardato causato dalla distanza delle zone a maggior propensione di rilascio di sedimenti. Gli eventi che hanno mostrato isteresi positiva, hanno contribuito ad osservare, tramite l'inversione dell'isteresi da positiva a negativa e viceversa, comportamenti di sediment depletion e rimobilitazione di sedimenti precedentemente trasportati in prossimità della stazione di misura. Il trend decrescente osservato dell'indice di isteresi durante gli eventi a picchi multipli ha inoltre consentito di osservare fenomeni di diluizione di sedimenti dovuti all'aumento del baseflow ed alla riduzione dell'apporto diretto.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Alexandrov, Y., Laronne, J. B., & Reid, I. (2007). Intra-event and inter-seasonal behaviour of suspended sediment in flash floods of the semi-arid northern Negev, Israel. *Geomorphology*, 85(1-2), 85-97.
- Butturini, A., Alvarez, M., Bernal, S., Vazquez, E., & Sabater, F. (2008). Diversity and temporal sequences of forms of DOC and NO<sub>3</sub>- discharge responses in an intermittent stream: Predictable or random succession?. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G3).
- De Girolamo, A. M., Pappagallo, G., & Porto, A. L. (2015). Temporal variability of suspended sediment transport and rating curves in a Mediterranean river basin: The Celone (SE Italy). *Catena*, 128, 135-143.
- De Girolamo, A. M., Di Pillo, R., Porto, A. L., Todisco, M. T., & Barca, E. (2018). Identifying a reliable method for estimating suspended sediment load in a temporary river system. *Catena*, 165, 442-453.
- Evans, C., & Davies, T. D. (1998). Causes of concentration/discharge hysteresis and its potential as a tool for analysis of episode hydrochemistry. *Water Resources Research*, 34(1), 129-137.
- Lawler, D. M., Petts, G. E., Foster, I. D., & Harper, S. (2006). Turbidity dynamics during spring storm events in an urban headwater river system: The Upper Tame, West Midlands, UK. *Science of the Total Environment*, 360(1-3), 109-126.
- Lloyd, C. E. M., Freer, J. E., Johnes, P. J., & Collins, A. L. (2016). Using hysteresis analysis of high-resolution water quality monitoring data, including uncertainty, to infer controls on nutrient and sediment transfer in catchments. *Science of the Total Environment*, 543, 388-404.