

WP5 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli sul sistema fiume attraverso nuovi indicatori

INTRODUZIONE

A cura di:

Dott.ssa Silvia Quadroni

Dott.ssa Serena Zaccara

Prof. Giuseppe Crosa



SCOPO DEL WORK PACKAGE

Il sistema di regolazione dei deflussi dal Lago Maggiore influisce direttamente sul livello e di conseguenza sul volume d'acqua presente all'interno del lago stesso, e quindi sulla disponibilità idrica a valle della Diga della Miorina, che deve garantire la tutela dell'ambiente fluviale, oltre agli usi delle acque (innanzitutto per l'irrigazione). Una scarsa disponibilità idrica può avere come effetto nel fiume la presenza di portate minime (pari al solo Deflusso Minimo Vitale - DMV) per periodi prolungati, con potenziali effetti negativi sull'ecosistema fluviale. Durante l'estate la probabilità che ciò avvenga è più elevata in quanto coincidono temporalmente minore disponibilità idrica (magra estiva naturale) e massima necessità di acqua per l'irrigazione. Scopo di questo WP è la selezione di indicatori per la valutazione della sostenibilità ecologica per il Fiume Ticino dello schema di gestione dei rilasci in essere e di sue possibili variazioni, con particolare riferimento a: 1) la disponibilità di volumi/portate estive per la mitigazione di magre particolarmente prolungate; 2) i tempi di esecuzione delle manovre di apertura delle paratoie per la variazione dei livelli e quindi delle portate nel fiume. Per raggiungere questo obiettivo sono state condotte attività di studio su diverse componenti biologiche e parametri ambientali del Fiume Ticino, con particolare riferimento al tratto immediatamente a valle del Lago Maggiore, che hanno permesso di valutare gli effetti ecologici del presente schema di gestione dei livelli e di differenti schemi di rilascio.

Il WP5 si è articolato in quattro attività:

5.1 - Installazione di sonde fisse per la valutazione delle condizioni chimico-fisiche delle acque in funzione della regolazione della risorsa idrica (*Parco Lombardo della Valle del Ticino e Università degli Studi dell'Insubria*)

5.2 - Analisi dello stato e trend della comunità di macroinvertebrati bentonici in funzione delle scelte gestionali (*Università degli Studi dell'Insubria*), con verifica della presenza di una specie target di bivalve (*Microcondylaea bonellii*), inserita in lista rossa IUCN e a rischio di estinzione (*CNR-ISE*)

5.3 - Studio della disponibilità di habitat per specie target, tra cui il barbo comune (*Barbus plebejus* Bonaparte, 1839), di rilevante interesse conservazionistico (specie tipica di fiumi planiziali inserita negli Allegati II e V della Direttiva Habitat e nella lista rossa IUCN), e delle sue variazioni in funzione delle scelte gestionali (*Università degli Studi dell'Insubria*)

5.4 - Analisi genetica della specie ittica target selezionata per l'attività 5.3, la cui vulnerabilità è associata anche alla presenza della specie alloctona *Barbus barbus* Linnaeus, 1758 (*Università degli Studi dell'Insubria*)

PREMESSA

Il Fiume Ticino è il secondo fiume d'Italia e il primo affluente del Fiume Po per portata media annua alla confluenza (348 m³/s). Il suo bacino imbrifero ha una superficie complessiva di 8172 km², divisa tra una porzione montana, a monte del Lago Maggiore, e una planiziale, a valle dello stesso.

Nasce in alta quota al Passo di Novena (2480 m slm) in Svizzera, con deflussi che sono inizialmente condizionati soprattutto dalla fusione delle nevi; procedendo verso valle, le precipitazioni concorrono in modo sempre più rilevante alla sua portata. Il regime pluviometrico del bacino è definito come sub-litoraneo alpino, con due massimi di precipitazione in primavera e autunno intercalati da due minimi, estivo e invernale, tra cui il minimo estivo e il massimo autunnale sono i più accentuati. La parte di bacino sublacuale è caratterizzata da precipitazioni medie annue comprese tra 1000 e 1500 mm. La porzione circumlacuale è caratterizzata invece da precipitazioni più abbondanti, fino a oltre 2000 mm annui circa. Nella parte di bacino sopralacuale, infine, l'abbondanza di precipitazioni è maggiore e caratterizzata da una maggiore quota di precipitazioni nevose, che influiscono sulle portate dei corsi d'acqua in maniera differita, rispetto a quelle piovose.

Il Lago Maggiore rappresenta un'importante discontinuità dal punto di vista delle caratteristiche idrologiche tra il tratto di monte lungo 91 km e quello di valle lungo 110 km. Il lago funziona come una grande vasca d'accumulo che permette di smorzare le variazioni di portata tra la parte alta del Ticino e degli altri affluenti e il tratto di Ticino emissario, dall'incile a Sesto Calende fino alla foce nel Po. Ad esempio, un picco di piena che si verifica nel tratto di monte arriva con tempi più dilatati nel tratto di valle, così come il successivo decremento di portata è più lungo. La quantità e l'andamento delle portate in uscita dal lago, e ancor di più di quelle che si riscontrano procedendo verso il Po, non sono più però quelli naturali; all'uscita dal Lago Maggiore è presente uno sbarramento di regolazione, la Diga della Miorina, attraverso il quale è possibile ridurre il deflusso di acqua dal lago in determinati periodi, per poi incrementarlo in altri, in funzione degli utilizzi antropici o del deflusso di eventuali piene. A valle della Diga della Miorina sono poi presenti degli sbarramenti a servizio di derivazioni, che prelevano una parte dell'acqua del fiume per convogliarla in canali ad uso irriguo e idroelettrico; l'acqua derivata torna solo in parte al fiume, per cui questi prelievi determinano una riduzione della portata (Consorzio del Ticino, 2016).

A valle di questi sbarramenti viene garantito il rilascio di un quantitativo minimo di acqua necessario per la sopravvivenza dell'ecosistema fluviale, il cosiddetto Deflusso Minimo Vitale (DMV). Il DMV

è previsto per legge ed è stato definito per via sperimentale al termine di un percorso conoscitivo con monitoraggi ecologici nel periodo 2009-2015. Il DMV rappresenta quindi la principale misura di mitigazione dell'alterazione idrologica dell'ecosistema fluviale. La funzione del DMV è di evitare che nei periodi di minore disponibilità idrica, alcuni tratti di fiume rischino di andare in asciutta completa o quasi; il suo obiettivo è quello di garantire il corretto svolgimento del ciclo vitale degli organismi animali e vegetali che vivono all'interno del fiume o che necessitano della sua presenza. La definizione quantitativa del DMV deve pertanto tenere in considerazione le esigenze ambientali delle diverse specie presenti, facendo sì che siano soddisfatte anche quelle degli organismi più sensibili. Inoltre, tale portata deve essere sufficiente, non solo a garantire lo spazio vitale (ossia l'habitat) delle diverse specie, ma anche a consentire una diluizione delle sostanze inquinanti che finiscono nel fiume evitando il raggiungimento di concentrazioni tossiche; la quantità d'acqua che scorre deve inoltre preservare il fiume da un riscaldamento eccessivo in estate, che potrebbe risultare letale per gli organismi che prediligono acque fresche. Sia per cercare di mimare le variazioni stagionali naturali delle portate sia per soddisfare le necessità dei vari utilizzatori della risorsa idrica che hanno differenti esigenze nell'arco dell'anno, il DMV non è costante, ma varia in determinati periodi. A queste variazioni gestite dall'uomo si aggiungono quelle causate dagli eventi naturali, in particolare dalle piene; quando gli afflussi sono particolarmente alti, la portata che eccede la capacità di derivazione delle opere di presa defluisce a valle degli stessi, aggiungendosi al DMV.

Di recente il concetto di DMV è stato superato dal concetto di Deflusso Ecologico (DE) (Regione Lombardia, 2023): con esso si passa dal garantire una portata istantanea minima al garantire un regime idrologico per il raggiungimento degli obiettivi ambientali indicati dalla Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE) così come definito dalla Direttiva Deflussi Ecologici (30/2017).

L'attuazione del DE avviene principalmente attraverso l'applicazione di fattori correttivi al DMV, che costituiscono la componente ambientale del DE. La formula per il calcolo del DE consente di calcolare la portata da rilasciare come DE in un corpo idrico in funzione di una componente idrologica e di una componente ambientale, quest'ultima definita dal prodotto di una serie di fattori correttivi.

Deflusso Ecologico (DE) = Componente Idrologica ($k \cdot Q_{media} \cdot S$) * Componente Ambientale ($M \cdot A \cdot Z \cdot T$)

La componente idrologica viene calcolata utilizzando il Bilancio Idrico Regionale (BIR), che definisce i valori delle portate medie naturali annuali dei corpi idrici. A partire da questi valori è possibile determinare il valore della componente idrologica del DE in ogni punto del reticolo

idrografico regionale, i cui valori costituiscono la base di calcolo della componente idrologica del DE.

La componente idrologica viene determinata in percentuale (k) del 10% della portata media annua indicata dal BIR e in funzione della portata specifica media naturale annua ($Q_{media} * S$) del bacino idrografico di riferimento.

La componente ambientale è determinata attraverso l'applicazione dei fattori correttivi ($M * A * Z * T$), al fine di consentire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi ambientali, di conservazione degli habitat naturali e di fruizione fissati dal Piano di Gestione del Distretto Idrografico così come definiti dal Piano di Tutela e Uso delle Acque. Il suo calcolo è determinato in funzione dello stato ecologico del corpo idrico, delle caratteristiche morfologiche dell'alveo nel tratto fluviale considerato, del contributo alle falde sotterranee, delle esigenze di maggiore tutela naturale degli ambienti fluviali, delle differenze nel regime idrico naturale legate ai diversi periodi dell'anno.

Siccome i valori di DMV nel Fiume Ticino sono stati definiti a seguito di una sperimentazione in cui è stato verificato il raggiungimento del buono stato ecologico del corso d'acqua ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque, finora non sono state applicate variazioni e quindi DMV e DE coincidono.

Il tratto di Fiume Ticino oggetto del presente progetto (Figura 1) ricade nel secondo (cod. Autorità di Bacino del Po: N0080982ir) dei sei corpi idrici in cui è stato suddiviso il Fiume Ticino sublacuale nell'ambito del Piano di Gestione del Distretto Idrografico del Fiume Po. Il confine di monte di questo corpo idrico è definito dallo sbarramento della Miorina, mentre il confine di valle è il Canale Langosco. Tale corpo idrico, considerato naturale, è lungo complessivamente 31 km, scorre attraverso le province di Novara, Varese e Milano, segnando per buona parte il confine tra Piemonte e Lombardia. Oltre a costituire un'importante risorsa per l'industria e l'agricoltura delle due Regioni, le acque del fiume costituiscono nel contempo l'asse portante di due dei principali Parchi Regionali italiani, il Parco Naturale della Valle del Ticino (Novara) e il Parco Lombardo della Valle del Ticino. I due parchi fanno parte di una rete di aree protette che caratterizza il territorio delle regioni Piemonte e Lombardia, oltre che della Rete ecologica europea Natura 2000, comprendendo entro i propri confini Siti di Interesse Comunitario (SIC) e Zone a Protezione Speciale (ZPS) istituiti ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE).

In questo tratto l'idrologia del fiume è influenzata principalmente da:

- le portate in ingresso al Lago Maggiore;
- l'attività di regolazione effettuata tramite la Diga della Miorina sulla portata in uscita dal Lago Maggiore;
- gli usi delle acque, prevalentemente a scopo agricolo e idroelettrico, a valle della Diga della Miorina.

All'interno del tratto d'indagine, a valle dello sbarramento della Miorina, sono presenti le seguenti tre opere di sbarramento:

- DIGA DI PORTO DELLA TORRE

Quest'opera di sbarramento è la prima presente sul tratto sublacuale del Fiume Ticino. Essa consente la produzione di energia idroelettrica tramite la centrale di Porto della Torre; a monte della diga è presente l'opera di presa del canale Regina Elena (Consorzio di Irrigazione e Bonifica Est Sesia - AIES), che si diparte in sponda destra tramite una galleria, che può derivare un massimo di 70 m³/s. La rimanente portata è rilasciata attraverso la centrale al piede dello sbarramento.

- DIGA DEL PANPERDUTO

La Diga del Panperduto consente la derivazione, in sponda sinistra, di un massimo di 55 m³/s di competenza del Canale Villorosi (Consorzio Bonifica Est Ticino Villorosi - ETV) oltre a un massimo di 120 m³/s di competenza del Canale Industriale (ENEL Green Power - EGP). Parte dell'acqua derivata dal Canale Industriale è rilasciata nuovamente in Ticino circa 20 km più a valle, a monte della filarola del Naviglio Langosco, in comune di Nosate (tramite il Canale Regresso) e poco a valle della stessa (tramite il Canale Tre Salti e il Canale Turbighetto).

A valle della Diga del Panperduto viene garantito il rilascio del DMV. Oltre al suddetto DMV, viene inoltre rilasciata la portata di competenza delle rogge (vedi sotto). Il DMV varia nel corso dell'anno in base alla disponibilità d'acqua stagionale e alle necessità antropiche. Lo schema di DMV attualmente in vigore a valle della Diga del Panperduto è il seguente: 24 m³/s da gennaio a maggio, 17 m³/s da giugno ad agosto e 31 m³/s da settembre a dicembre. Il periodo estivo è quello caratterizzato dal DMV più basso a causa della minore disponibilità idrica stagionale e dell'incremento del fabbisogno idrico per l'irrigazione.

- FILAROLA DELLE ROGGE NOVARESI

Quest'opera di sbarramento, in materiale sciolto, è posta circa 1,8 km a valle della precedente ed è quindi in una sezione in cui una parte consistente della portata del Ticino è stata prelevata. La filarola consente la derivazione, in sponda destra, di un massimo di 7.26 m³/s, di competenza delle rogge Clerici-Simonetta (1.26 m³/s) e Molinara di Oleggio (6 m³/s) (AIES).

La portata, somma del DMV e delle competenze citate, è garantita come detto dal rilascio presso la Diga del Panperduto.

La natura dell'opera, costituita da materiale sciolto, la rende temporanea, in quanto eventi di portata elevata rendono necessaria la sua ricostruzione. La corretta quantificazione del DMV è stabilita per

differenza fra la portata rilasciata al Panperduto, misurata, e quella derivata dalle rogge, anch'essa misurata.

È importante sottolineare che il DMV rilasciato a valle della filarola, pur integrato dai contributi di sub-alveo e del bacino residuo, copre un tratto di circa 22 km, cioè fino alla restituzione in Ticino di una quota della portata derivata dal Canale Industriale tramite il Canale Regresso.

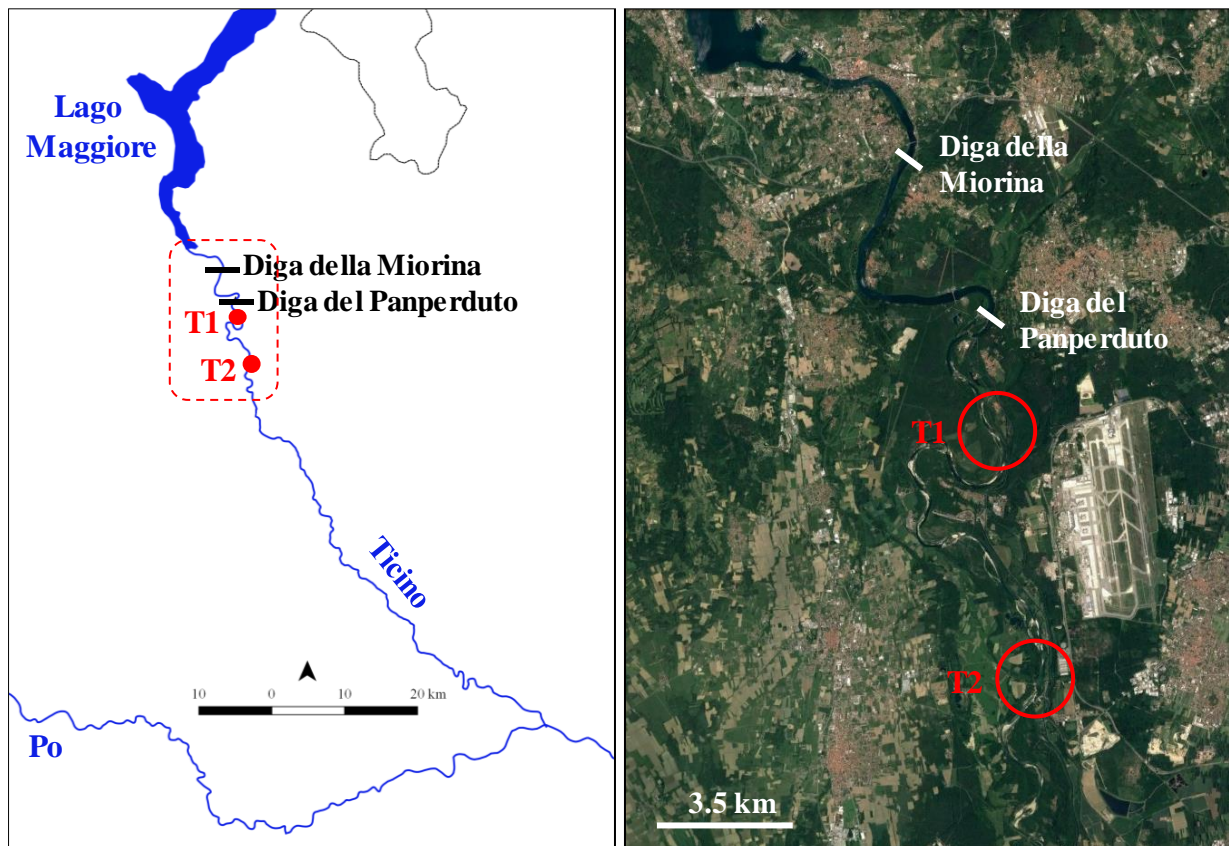


Figura 1. Area d'interesse per il presente progetto. Sono indicate le due principali strutture idrauliche (Diga della Miorina e Diga del Panperduto) e le due stazioni del Fiume Ticino (T1 e T2) in cui si sono maggiormente focalizzate le indagini ecologiche.

Nel tratto d'indagine il regime fluviale è pluvio-nivale caratterizzato da due periodi di morbida, uno in primavera e uno in autunno, e due periodi di magra, uno in inverno e uno in estate (Salmaso et al., 2017). L'andamento delle portate così come l'entità, la durata e la frequenza degli eventi di piena sono funzione, oltre che delle precipitazioni nella porzione sublacuale, di quelle nella parte di bacino montana e circumlacuale e della modalità di gestione delle portate presso la Diga della Miorina.

Considerando come piena ordinaria quella che si verifica quando la portata in uscita dal lago supera circa 1000 m³/s (corrispondente a un'altezza idrometrica del lago di 200 cm), è possibile individuare mediamente un evento all'anno a partire dall'entrata in esercizio della Diga della Miorina.

Dal punto di vista idraulico-morfologico, in questo tratto fluviale è possibile individuare due segmenti distinti:

1. uno compreso tra la Diga della Miorina e la Diga del Panperduto, in cui la presenza della quasi totalità delle portate rilasciate dal lago Maggiore e l'effetto di rigurgito dei due sbarramenti (Dighe di Porto della Torre e del Panperduto) determinano caratteristiche lentiche, con acque profonde e scarsamente turbolente;
2. l'altro compreso tra la Diga del Panperduto e la fine del tratto stesso (all'incirca presso il ponte di Oleggio), in cui le portate sono ridotte a causa delle derivazioni e il fiume ha profondità minori e maggiore turbolenza. In questo tratto il rilascio del DMV (o DE) dovrebbe garantire, anche nei periodi di magra, il mantenimento di caratteristiche ecologiche accettabili nonostante i prelievi. La maggior parte delle indagini ecologiche si è concentrata in questo secondo segmento in quanto presenta le maggiori criticità dal punto di vista dell'alterazione idrologica. In particolare, sono state selezionate due stazioni di monitoraggio (Figura 1), una a Somma Lombardo (T1) poco a valle (3 km) della Diga del Panperduto e l'altra (T2), situata tra i comuni di Oleggio e Lonate Pozzolo, a distanza di 12 km dalla prima. Nella seconda stazione le portate sono maggiori grazie al contributo del bacino residuo (52 km²) e soprattutto della falda acquifera, specialmente durante i periodi di magra, con un incremento medio stimato in circa 7 m³/s (Salmaso et al., 2017, 2021).

Nel periodo 1943-2019 le portate a valle della Miorina hanno mostrato variazioni significative in sette parametri di alterazione idrologica (su un totale di 47 parametri analizzati, Salmaso et al., 2021) ritenuti di interesse ecologico (Richter et al., 1996). Cinque di questi sette parametri sono associati ai periodi di magra (Figura 2) e confermano la tendenza, già evidenziata per altri fiumi europei, verso un generale decremento della portata. In particolare, un aumento della durata dei periodi di magra è stato rilevato anche per il fiume Nerbio in Spagna (Meaurio et al., 2017) e, in generale, per i corsi d'acqua dell'Europa meridionale (Giuntoli et al., 2015). Inoltre, nel Fiume Ticino, l'entità delle portate di fine estate, cioè delle portate registrate nel mese di settembre, ha mostrato una diminuzione significativa, indipendentemente dalle condizioni idrologiche generali dell'anno, in accordo con quanto già rilevato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2017) per i corsi d'acqua europei a partire dagli anni '60 e con quanto predetto per i decenni futuri per alcuni fiumi inglesi (Wilby & Harris, 2006), francesi (Amraoui et al., 2019; Vetter et al., 2015; Vidal et al., 2016) e belgi (De Niel et al., 2019; Vansteenkiste et al. 2014).

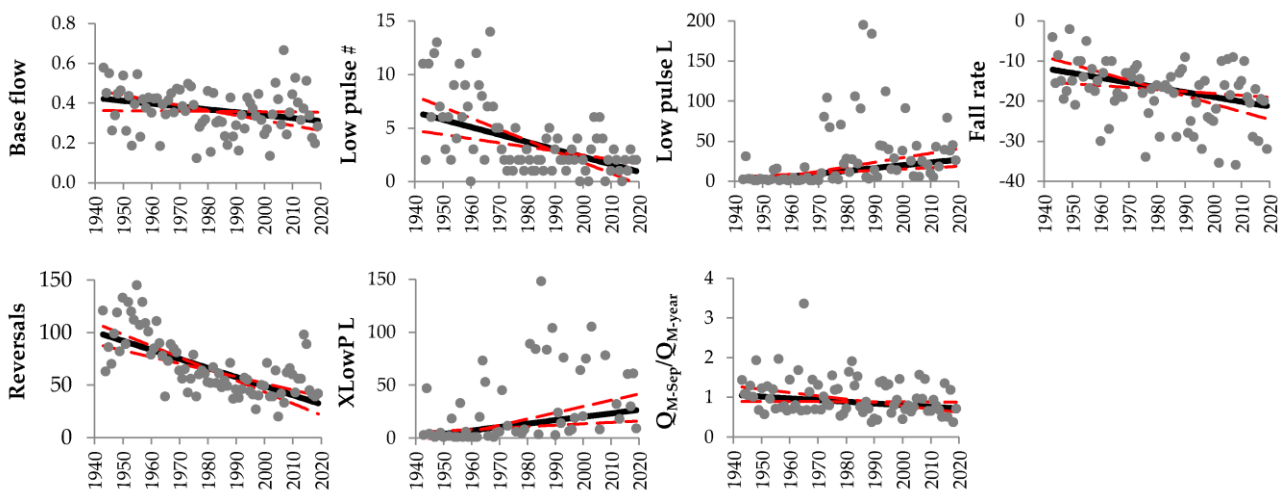


Figura 2. Andamenti temporali di sette indicatori di alterazione idrologica calcolati sui dati di portata media giornaliera a valle della Miorina dal 1943 al 2019 (da Salmaso et al., 2021). Base flow = portata minima di sette giorni consecutivi divisa per la portata media annua; Low pulse # = frequenza dei periodi di bassa portata in un anno; Low pulse L = durata mediana dei periodi di bassa portata; Fall rate = mediana delle differenze negative tra valori registrati in due giorni consecutivi; Reversals = numero di inversioni idrologiche; XLowP L = durata mediana dei periodi con valori di portata inferiori al 10° percentile; Q_{M-Sep}/Q_{M-year} = portata media di settembre divisa per la portata media annua.

In alcuni casi, gli andamenti temporali di specifici parametri idrologici sono risultati influenzati dall'esercizio della Diga della Miorina. Ad esempio, la frequenza dei periodi di bassa portata, al suo massimo negli anni '60, è diminuita nei decenni successivi. Questo può essere attribuito alla derivazione dell'acqua per la produzione dell'energia idroelettrica, ridotta in quel periodo durante i fine settimana, nei periodi di minore immagazzinamento idrico del Lago Maggiore. Un'ulteriore modifica rispetto alla precedente gestione dei deflussi del Lago Maggiore è legata alla già citata introduzione del rilascio obbligatorio del DMV nel Fiume Ticino, iniziato nel 2009, e rivisto (ovvero, il DMV è stato leggermente aumentato, da 12-22 m³/s a 17-31 m³/s) nel 2015. Tuttavia, distinguere gli effetti del cambiamento climatico da quelli del cambiamento della gestione della risorsa idrica sulle modifiche dei parametri idrologici nel lungo periodo è complicato; spesso è necessaria la ricostruzione delle serie temporali delle portate naturali (cioè non influenzate dalla regolazione) (Cui et al., 2020; Wang, 2014). Infatti, i cambiamenti tra i diversi anni nella gestione delle portate rilasciate a valle delle dighe possono verificarsi in risposta agli obiettivi operativi, alle scelte di regolazione dei serbatoi e alle condizioni idro-meteorologiche (Zhang et al., 2018). Tali cambiamenti possono anche essere dovuti all'eventuale aumento della capacità di immagazzinamento dell'acqua a livello di bacino

idrografico nonché alle modifiche nell'uso del suolo, soprattutto nelle zone montuose, come conseguenza dell'abbandono delle pratiche agro-silvo-pastorali (Falcucci et al., 2007; García-Ruiz & Lana-Renault, 2011).

Oltre alla variazione dei parametri idrologici, nel periodo 1999-2013, si è assistito anche a un aumento della temperatura media annua dell'acqua pari a circa 2°C presso la Diga della Miorina. Questo aumento è in accordo con quello riportato da Ambrosetti et al. (2006) per le acque superficiali del Lago Maggiore nel periodo 1962-1997. Un aumento della temperatura media annua dell'acqua nel corso del secolo scorso è stato registrato anche in altri torrenti e grandi fiumi europei ed è stato attribuito almeno in parte al riscaldamento climatico (Dokulil, 2013; Orr et al., 2015). Inoltre, è stato previsto un ulteriore aumento di più di 2°C nel corso del XXI secolo (van Vliet et al., 2013).

Dal confronto tra gli andamenti temporali delle portate a valle della Miorina e a valle della Diga del Panperduto nel periodo 2001-2013 è emerso come questi presentino alcuni tratti comuni. L'andamento delle portate medie mensili è risultato caratterizzato da due picchi, uno a maggio e uno a novembre, con il primo 1,5 volte superiore rispetto al secondo. Inoltre, durante il periodo di magra invernale, le portate sono risultate essere più stabili che nel periodo estivo: a valle della Diga del Panperduto, i giorni con portate pari al DMV sono stati in media l'81% del numero totale di giorni da gennaio a marzo, mentre il 67% da agosto a ottobre. Il rapporto tra i valori massimi e i valori minimi della portata media mensile è risultato evidentemente più elevato a valle della Diga del Panperduto (portata media di maggio/portata media di febbraio = 21) rispetto alla Diga della Miorina (portata media di maggio/portata media di febbraio = 3). La differenza percentuale tra le portate medie mensili a valle delle due dighe è risultata maggiore durante i periodi di magra, con un massimo dell'88% ad agosto (Salmaso et al., 2017).

In Figura 3 sono riportati gli andamenti delle portate medie giornaliere registrati a valle delle Dighe della Miorina e del Panperduto durante gli anni del presente Progetto (2019-2022). Le prime variano da un minimo di 58.5 m³/s a un massimo di 1463 m³/s, corrispondenti a un minimo di 14 m³/s e un massimo di 1361 m³/s presso la Diga del Panperduto. Il valore minimo è stato riscontrato nell'estate 2022 in occasione di un periodo di siccità estrema (dal 29 luglio al 10 agosto) durante il quale è stata concessa una deroga al DMV.

Mentre nel 2019 e nel 2020 si possono osservare i due caratteristici periodi di morbida e i due di magra, nel 2021 non si è verificata la magra estiva mentre nel 2022 il DMV si è protratto fino alla fine del periodo indagato, ossia fino a fine settembre, senza la presenza di periodi di morbida (Figure 3 e 4).

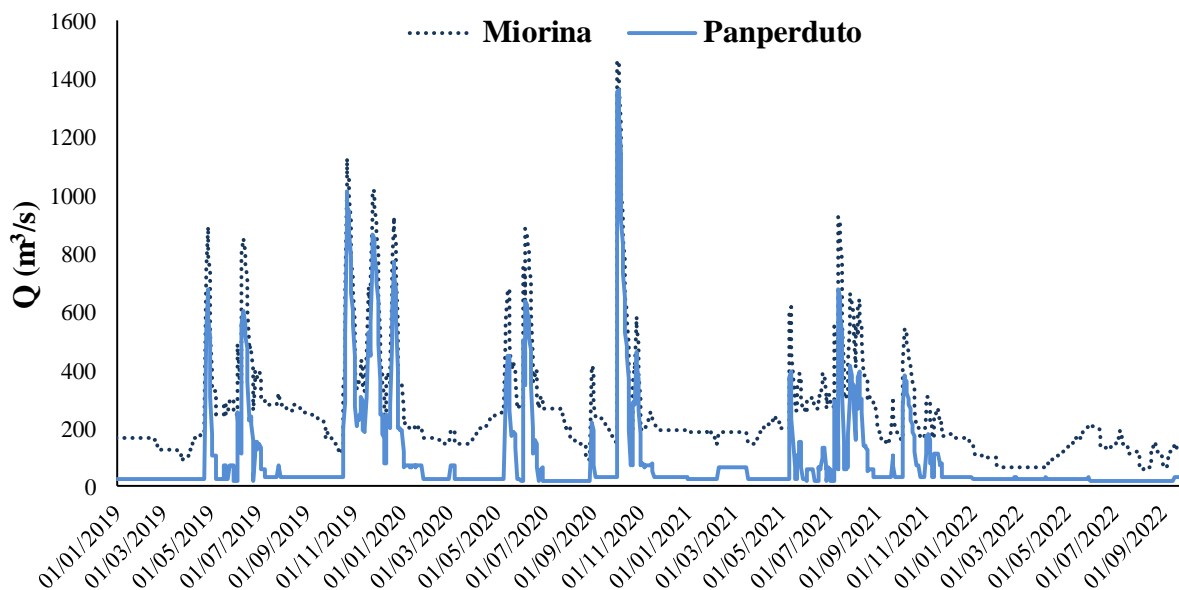


Figura 3. Andamento delle portate medie giornaliere a valle delle Dighe della Miorina e del Panperduto da gennaio 2019 a settembre 2022.

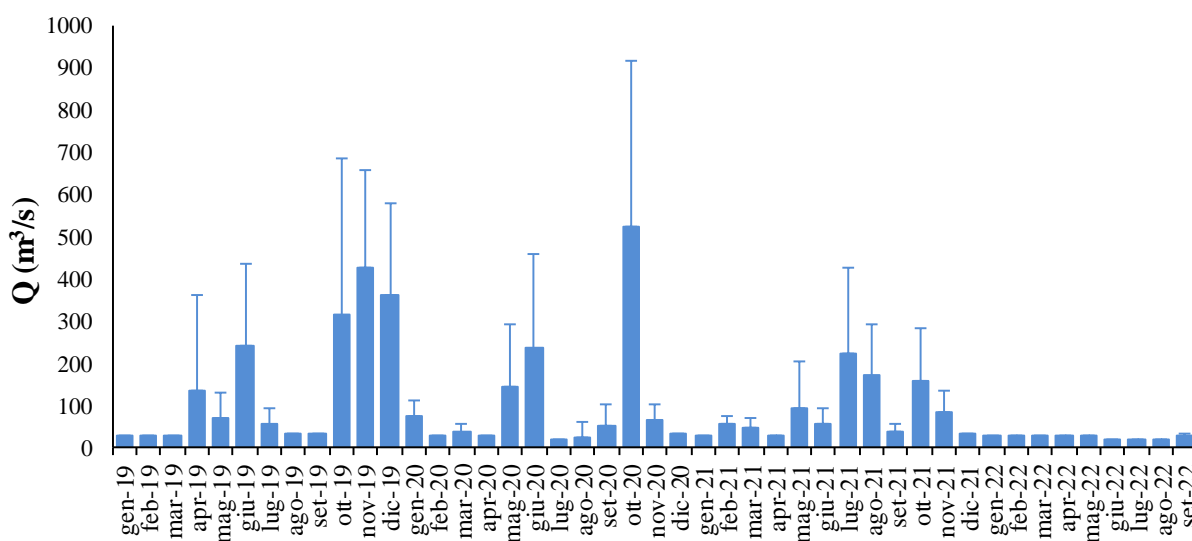


Figura 4. Andamento delle portate medie mensili (con relativa deviazione standard) a valle della Diga del Panperduto da gennaio 2019 a settembre 2022.

Nonostante l'assenza della magra estiva, nel 2021 la portata media annua presso la Diga del Panperduto è risultata leggermente inferiore al valore medio del periodo 2001-2022 ($100 \text{ m}^3/\text{s}$), mentre nel 2022 è risultata tra le più basse registrate in questo periodo, comparabile a quella rilevata nel 2003 e circa il doppio del minimo rilevato nel 2005, ossia prima dell'entrata in vigore del DMV (Figura 5).

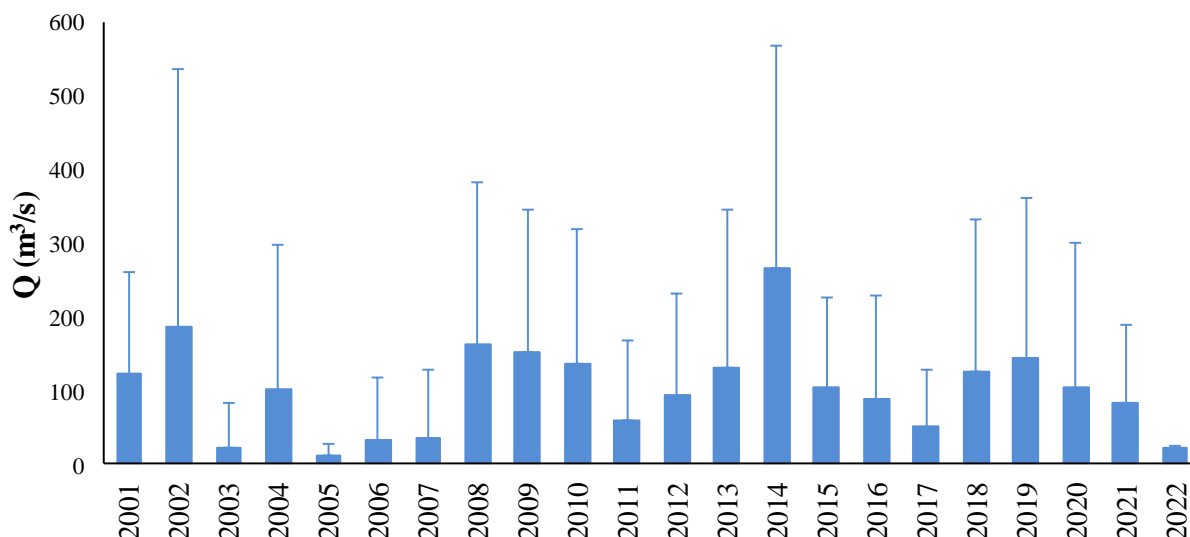


Figura 5. Andamento delle portate medie annuali (con deviazione standard) a valle della Diga del Panperduto dal 2001 al 2022 (per il 2022 sono state considerate le portate fino a fine settembre).

In Figura 6 l'andamento delle portate a valle della Diga del Panperduto è stato messo a confronto con l'andamento del livello del Lago Maggiore per il periodo d'interesse. Risulta evidente come i periodi di morbida del fiume siano coincisi con livelli del lago superiori all'intervallo di regolazione dello sbarramento della Miorina. Per livelli del lago inferiori a 40 cm nel fiume si sono registrati sempre valori pari al DMV, mentre per valori superiori a 40 cm ma sempre nell'ambito della regolazione si sono registrati sia valori di DMV che valori di portata più elevati.

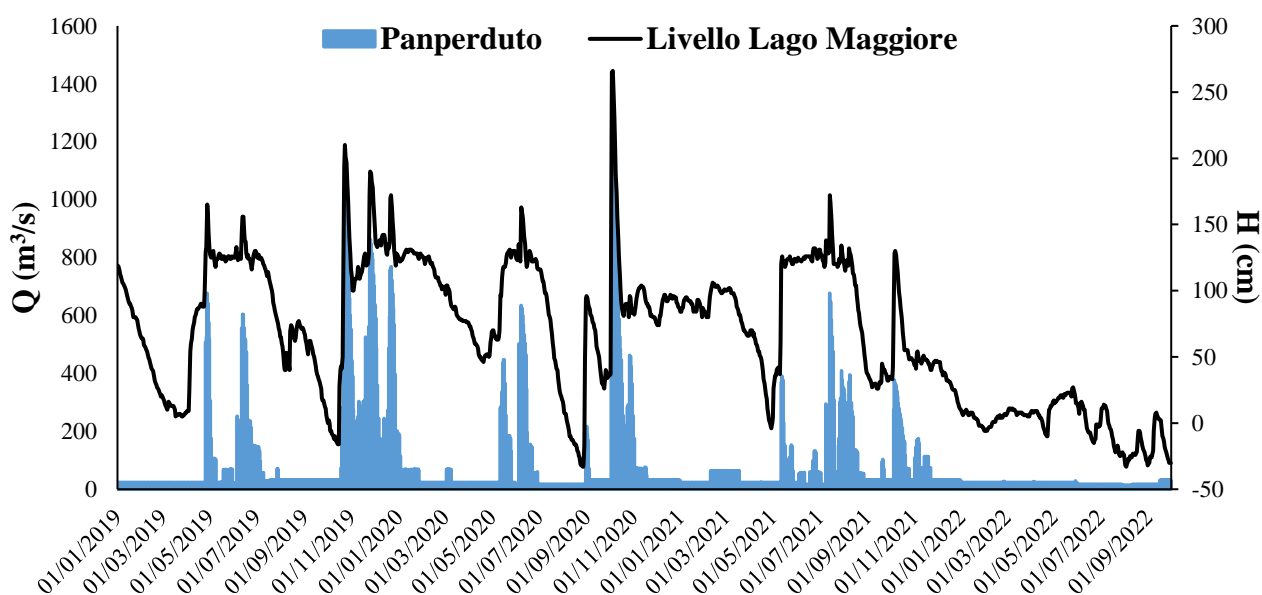


Figura 6. Andamento delle portate medie giornaliere a valle della Diga del Panperduto e del livello del Lago Maggiore da gennaio 2019 a settembre 2022.

Oltre che dall'alterazione idrologica, i risultati delle indagini ecologiche potrebbero essere influenzati dalle alterazioni morfologiche, dalla presenza di carichi inquinanti e di specie alloctone.

Per quanto riguarda la morfologia, il tratto di Fiume Ticino oggetto d'indagine appare deframmentato e caratterizzato da elementi di pregio naturalistico che valorizzano le componenti ambientali e gli habitat tipici degli ambienti acquatici. Tuttavia, in alcuni tratti, il fiume è stato modificato nelle sue sponde e nei suoi ambienti naturali limitrofi per svariati motivi (sicurezza idraulica, agricoltura, ecc.). Questi interventi possono influire negativamente sulle componenti biologiche monitorate. In particolare, con riferimento alle stazioni di monitoraggio del presente progetto (Figura 1), oltre alla presenza delle opere di derivazione, è possibile evidenziare le seguenti caratteristiche:

- nella stazione di monitoraggio T1 gli unici elementi di alterazione sono dei pennelli in pietrame sulla sponda sinistra, che tuttavia non appaiono modificare la morfologia locale in modo negativo;
- nella stazione di monitoraggio T2 è presente un ponte stradale e lungo la sponda sinistra una massicciata artificiale.

Inoltre, in tutti e due i tratti, nell'area immediatamente a valle delle opere di derivazione, sono evidenti fenomeni di erosione dell'alveo con conseguenti effetti soprattutto sulle sponde.

Sia la Diga di Porto della Torre che la Diga del Panperduto sono state dotate di sistemi per la risalita della fauna ittica rispettivamente nel 2011 e nel 2010. Queste strutture di risalita sono dotate di sistemi per il rilevamento del passaggio della fauna ittica, che hanno consentito di verificare l'effettiva funzionalità dei passaggi. La filarola delle rogge novaresi, per le sue caratteristiche strutturali e per il fatto di essere temporanea è da considerarsi una struttura valicabile (Consorzio del Ticino, 2016).

Anche per quanto riguarda l'inquinamento delle acque, il tratto di Fiume Ticino oggetto del presente progetto non presenta criticità rilevanti. Le aree a contatto con il fiume sono prevalentemente costituite da zone boschive e scarsamente antropizzate, tuttavia sono presenti anche terreni agricoli, localizzati principalmente in area piemontese, e superfici urbanizzate in area lombarda. I carichi inquinanti che gravano su questo tratto comprendono quindi:

- il carico inquinante derivante dagli scarichi di reflui civili;
- il carico inquinante derivante dalle attività agricolo-zootecniche;
- il carico (per quanto limitato) originato dalle aree naturali;
- il carico originato dalle attività industriali.

I carichi di azoto e fosforo, con potenziale eutrofizzante, prodotti tramite le fonti puntiformi sono nettamente prevalenti su quelli derivanti da fonti diffuse; tra le fonti puntiformi prevalgono quelle di

tipo civile per quanto riguarda l'apporto di fosforo, quelle di tipo industriale per quanto riguarda l'apporto di azoto.

Tra i carichi di origine civile, lo scarico del depuratore di Somma Lombardo potrebbe provocare effetti sulla qualità del fiume nelle stazioni di monitoraggio (Consorzio del Ticino, 2016).

Come molte delle acque interne italiane, il Fiume Ticino è soggetto alla presenza di specie ittiche alloctone, alcune delle quali con popolazioni in crescita e con caratteristiche invasive e dannose per le biocenosi acquatiche autoctone. Tra le specie segnalate lungo il corso del Ticino e, in particolare, nel tratto d'interesse del presente progetto, si evidenzia la crescente diffusione del siluro (*Silurus glanis*), originario dell'Europa centro-orientale e caratterizzato da un'ampia adattabilità ambientale. Tale specie, in termini trofici, è un'opportunisto prevalentemente ittiofaga che si pone al vertice della piramide alimentare acquatica. Inoltre, ha una velocità di crescita abbastanza elevata, un periodo riproduttivo lungo che riduce notevolmente i rischi dovuti a eventi climatici o idrologici per la prole, ed entra in competizione per i rifugi con altri predatori. Queste caratteristiche fanno del siluro uno degli elementi maggiormente impattanti sulla fauna ittica autoctona. Per questa specie ittica alloctona sono già stati effettuati interventi di contenimento numerico, di tipo selettivo, volti a contrastarne la diffusione nel Fiume Ticino.

Un'altra specie ittica alloctona, che può costituire una seria minaccia per la conservazione del patrimonio ittico autoctono, a causa della possibilità di formare ibridi con la specie autoctona congenerica (il barbo comune – *Barbus plebejus*), è il barbo europeo (*Barbus barbus*).

Oltre alla pressione predatoria determinata dal siluro, le popolazioni ittiche del Fiume Ticino sono soggette alla presenza di uccelli ittiofagi, come il cormorano (*Phalacrocorax carbo*), che negli ultimi anni ha notevolmente incrementato le presenze in tutto il territorio regionale, rispecchiando il trend positivo registrato a livello nazionale. La predazione non soltanto determina una riduzione di densità e biomassa delle popolazioni predate, ma comporta anche effetti secondari. Tra questi il ferimento dei soggetti che sfuggono alla cattura, in grado di condizionarne lo stato sanitario, e una possibile alterazione del comportamento dei pesci, che sono spaventati e spesso indotti ad abbandonare il loro habitat naturale, anche in momenti strategici quali la riproduzione o il periodo di rifugio invernale, con possibili conseguenze negative sulla demografia delle popolazioni. Il quadro normativo, sia nazionale sia regionale, consente la messa in atto d'interventi dissuasivi finalizzati al contenimento degli effetti della sua presenza (Consorzio del Ticino, 2016).

Bibliografia

- Ambrosetti, W., Barbanti, L., Rolla, A. 2006. The climate of Lago Maggiore area during the last fifty years. *J. Limnol.* 65(1), 1-62.
- Amraoui, N., Sbai, M.A., Stollsteiner, P. 2019. Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in the Somme River Basin (France). *Water Resour. Manag.* 33, 2073-2092.
- Consorzio del Ticino, 2016. Il Fiume Ticino: riqualificazione e valorizzazione del corridoio ecologico. 113 pp.
- Cui, T., Tian, F., Yang, T., Wen, J., Khan, M.Y.A. 2020. Development of a comprehensive framework for assessing the impacts of climate change and dam construction on flow regimes. *J. Hydrol.* 590, 125358.
- De Niel, J., Van Uytven, E., Willems, P. Uncertainty Analysis of Climate Change Impact on River Flow Extremes Based on a Large Multi-Model Ensemble. *Water Resour. Manag.* 33, 4319-4333.
- Dokulil, M. 2013. Impact of climate warming on European inland waters. *Inland Waters* 4, 27-40.
- EEA (European Environment Agency), 2017. Climate change impacts and vulnerability in Europe 2016. In EEA Report No 1/2017; EEA: Copenhagen, Denmark, 419 pp.
- Falcucci, A., Maiorano, L., Boitani, L. 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landsc. Ecol.* 22, 617-631.
- García-Ruiz, J.M., Lana-Renault, N. 2011. Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region – A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140, 317-338.
- Giuntoli, I., Vidal, J.-P., Prudhomme, C., Hannah, D.M. 2015. Future hydrological extremes: The uncertainty from multiple global climate and global hydrological models. *Earth Syst. Dyn.* 6, 267-285.
- Meaurio, M., Zabaleta, A., Boithias, L., Epelde, A.M., Sauvage, S., Sánchez-Pérez, J.-M., Srinivasan, R., Antiguada, I. 2017. Assessing the hydrological response from an ensemble of CMIP5 climate projections in the transition zone of the Atlantic region (Bay of Biscay). *J. Hydrol.* 548, 46-62.
- Orr, H.G., Simpson, G.L., des Clers, S., Watts, G., Hughes, M., Hannaford, J., Dunbar, M.J., Laizé, C.L.R., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Evans, R. 2015. Detecting changing river temperatures in England and Wales. *Hydrol. Process.* 29, 752-766.
- Regione Lombardia, 2023. <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/servizi-e-informazioni/enti-e-operatori/territorio/governo-delle-acque/deflusso-ecologico>
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun, D.P. 1996. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conserv. Biol.* 10, 1163-1174.

- Salmaso, F., Quadroni, S., Gentili, G., Crosa, G. 2017. Thermal regime of a highly regulated Italian river (Ticino River) and implications for aquatic communities. *Journal of Limnology* 76(1).
- Salmaso, F., Crosa, G., Espa, P., Quadroni, S. 2021. Climate Change and Water Exploitation as Co-Impact Sources on River Benthic Macroinvertebrates. *Water* 13(19), 2778.
- van Vliet, M.T., Franssen, W.H., Yearsley, J.R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D.P., Kabat, P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Glob. Environ. Chang.* 23, 450-464.
- Vansteenkiste, T., Tavakoli, M., Ntegeka, V., De Smedt, F., Batelaan, O., Pereira, F., Willems, P. 2014. Intercomparison of hydrological model structures and calibration approaches in climate scenario impact projections. *J. Hydrol.* 519, 743-755.
- Vetter, T., Huang, S., Aich, V., Yang, T., Wang, X., Krysanova, V., Hattermann, F. 2015. Multi-model climate impact assessment and intercomparison for three large-scale river basins on three continents. *Earth Syst. Dyn.* 6, 17-43.
- Vidal, J.-P., Hingray, B., Magand, C., Sauquet, E., Ducharne, A. 2016. Hierarchy of climate and hydrological uncertainties in transient low-flow projections. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 3651-3672.
- Wang, X. 2014. Advances in separating effects of climate variability and human activity on stream discharge: An overview. *Adv. Water Resour.* 71, 209-218.
- Wilby, R.L., Harris, I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resour. Res.* 42, 02419.
- Zhang, Y., Zhai, X., Zhao, T. 2018. Annual shifts of flow regime alteration: New insights from the Chaishitan Reservoir in China. *Sci. Rep.* 8, 1-11.