

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE EFFETTO DELLE PRATICHE AGRICOLE SU AMBIENTE E AREE PROTETTE

OCENA MOŽNIH UČINKOV KMETIJSKIH PRAKS NA OKOLJE IN ZAŠČITENA OBMOČJA

Studio della capacità di autodepurazione del tratto di fiume Isonzo tra
Salcano e Gradisca

Analiza samočistilne zmogljivosti odseka reke Soče med Solkanom in
Gradiščem ob Soči

Versione/Verzija: N. / Št. 1 (final)

Autore/Avtor:

- Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (AWAA)
- Agenzia Regionale per l'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG)

Data/Datum: 14/02/2022



PODATKI O DOKUMENTU / INFORMAZIONI SUL DOCUMENTO

Delovni sklop	Work package
W.P.3.3	W.P.3.3
Aktivnost	Attività
Att. 11	Att.11
Dosežek	Risultato
Deliverable 3	Deliverable 3
Odgovorni partner za dosežek	Partner responsabile del risultato
PP8, PP10	PP8, PP10
Avtorji	Autori
Nico Dalla Libera	Nico Dalla Libera
Sara Pasini	Sara Pasini
Alberto Cisotto	Alberto Cisotto
Matteo Bisaglia	Matteo Bisaglia
Andrea Braidot	Andrea Braidot
Giulia Gaiola	Giulia Gaiola
Raffaella Zorza	Raffaella Zorza
Elena Pezzetta	Elena Pezzetta
Michele Mattiussi	Michele Mattiussi
Antonella Zanello	Antonella Zanello
Naslov dokumenta	Titolo del documento
Analiza samočistilne zmogljivosti odseka reke Soče med Solkanom in Gradiščem ob Soči (WP 3.3 - ATT. 11)	Studio della capacità di autodepurazione del tratto di fiume Isonzo tra Salcano e Gradisca (WP 3.3 - ATT. 11)
Datum	Data
14/02/2022	14/02/2022
Dokument je sestavljen v slovenskem in italijanskem jeziku. V primeru neskladnosti ali dvomov pri tolmačenju prevlada italijanski jezik.	Il presente documento è redatto in italiano e sloveno. In caso di discordanza o di dubbi interpretativi prevale il testo in lingua Italiana.
Vsebina dokumenta ne odraža nujno uradnega stališča Evropske unije.	Il contenuto del presente documento non rispecchia necessariamente le posizioni ufficiali dell'Unione Europea.

Descrizione del progetto

Obiettivo principale del progetto GREVISLIN (progetto finanziato nell'ambito del Programma Interreg V-A Italia-Slovenia 2014-2020) è sviluppare un'area transfrontaliera coesa, integrata e sostenibile con una chiara strategia a lungo termine nella gestione delle infrastrutture verdi, rafforzare la sensibilità e le misure per uno sviluppo transfrontaliero sostenibile. La sfida è stabilire una pianificazione strategica transfrontaliera a lungo termine per sviluppare e tutelare le infrastrutture verdi, monitorare le acque e la biodiversità degli habitat, implementare attività pilota e investimenti per la creazione di infrastrutture verdi in aree NATURA 2000 e sensibilizzare i gruppi target sulla sostenibilità delle risorse idriche, delle aree protette e dei terreni forestali e agricoli.

BUDGET TOTALE: 2.940.032,53€

CONTRIBUTO FESR: 2.499.027,63€

DURATA: 39 mesi

INIZIO: 15.11.2018 - FINE: 14.02.2022

LEAD PARTNER:

Agenzia di sviluppo regionale del Nord Primorska S.r.l. Nova Gorica

PARTNER DI PROGETTO:

Comune di Ajdovščina; Comune di Nova Gorica; Istituto per l'Acqua Sloveno; Agenzia ambientale slovena (ARSO); Istituto agricolo forestale di Nova Gorica; Comune di Postojna; Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali; Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Direzione Centrale ambiente ed energia - Servizio gestione risorse idriche; Agenzia Regionale per la Protezione dell'ambiente del Friuli Venezia Giulia; Consorzio di Bonifica della Venezia Giulia; Comune di Staranzano; Regione del Veneto; Agenzia Veneta per l'innovazione nel settore primario - Veneto Agricoltura

www.ita-slo.eu/grevislin

Studio della capacità di autodepurazione del tratto di fiume Isonzo tra Salcano e Gradisca (WP 3.3 - ATT. 11)

Dalla Libera N.(a), Pasini S.(a), Cisotto A.(a), Bisaglia M.(a)., Braidot A.(a), Gaiola G.(b), Zorza R. (b), Pezzetta E. (b), Mattiussi M. (b), Zanella A. (b)

(a) *Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali (AdB AO), Venezia, Italia.*

(b) *Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG), Trieste, Italia.*

1. Introduzione

La corretta gestione del bacino dell'Isonzo e delle sue problematiche ambientali richiede, tra i vari temi, una stretta collaborazione tra gli stati che ne condividono i territori. A questo proposito, il progetto GREVISLIN INTERREG Italia-Slovenia mira a consolidare i rapporti tra le amministrazioni competenti, e nello specifico a migliorare la definizione di pratiche di gestione ambientale condivise.

Nell'ottica dei principi espressi nelle direttive europee WFD 2000/60/EC, 92/43/CEE e 79/409/CEE, sono state definite delle indagini ambientali e delle attività modellistiche che possano dare un valido supporto nella valutazione delle pressioni antropiche esistenti nel bacino idrografico. Questo studio si prefigge, quindi, la quantificazione dei potenziali effetti delle attività antropiche sulla qualità delle acque superficiali e le potenziali ripercussioni nelle aree idraulicamente connesse al sistema fluviale.

Nel panorama dei diversi *work packages (WP)* di cui è costituito il progetto GREVISLIN, il presente studio si inquadra all'interno delle attività previste dal WP 3.3. Tali attività prevedono lo sviluppo di un sistema di analisi degli impatti dell'agricoltura, sulla base dei dati ambientali e di uso dei pesticidi, valutando il potenziale effetto delle pratiche agricole sulle acque fluviali e le aree protette connesse.

L'area dell'Isonzo, qui indagata, è caratterizzata dalla presenza di attività antropiche di varia natura, in parte identificate - nel contesto della pianificazione di bacino relativa alla direttiva 2000/60/EC - come pressioni significative, cioè in grado di compromettere, allo stato attuale o in futuro, la qualità delle acque dei corpi idrici presenti. Il primo aggiornamento del Piano di gestione delle acque del Distretto delle Alpi Orientali, adottato a dicembre 2015, ha riportato e descritto

tali problematiche, divenute oggetto di approfondimento nel progetto GREVISLIN. Il bacino transfrontaliero dell'Isonzo non è solamente affetto dalla pressione diffusa "agricoltura", ma presenta diverse altre pressioni (i.e.: scarichi urbani e industriali) tra le quali spicca quella legata al sistema di derivazioni. L'attuale assetto derivatorio si presenta come un complesso sistema di gestione delle acque fluviali, il quale garantisce il sostentamento idrico per le diverse attività economiche presenti nell'area. Sebbene la derivazione d'acqua dal fiume abbia una sua importante funzione, la stessa sta innescando diversi processi negativi per il corretto funzionamento del sistema fluviale, sia nella sua funzione idrologica che in quella ecologica. Il principale, ma non l'unico, è il fenomeno dell'hydropeaking generato dallo sbarramento della centrale idroelettrica di Salcano.

In questa direzione, le attività svolte dai partner coinvolti mirano alla costruzione di un tool modellistico che consenta di valutare quantitativamente l'impatto delle pressioni "agricoltura" e "derivazioni" sulla qualità delle acque fluviali e, allo stesso tempo, di stimare gli effetti derivanti dall'applicazione di diversi scenari di gestione fluviale sulla capacità di autodepurazione.

Il monitoraggio di quest'ultima è finalizzato a tarare i fattori di riduzione del carico inquinante nel corso d'acqua, quindi, a favorire conoscenze di supporto alla corretta gestione delle aree connesse al sistema fluviale. Nel contesto del fiume Isonzo, tali aree sono quelle afferenti alla Rete Natura 2000 come la Riserva naturale Foce dell'Isonzo - Isola della Cona. Lo stesso strumento modellistico, inoltre, potrà essere di supporto sia alla pianificazione ambientale che ad una più efficace implementazione della Direttiva Quadro Acque (DQA 2000/60/CE).

2. Materiali e metodi

2.1 Area studio

L'area oggetto del presente studio è la porzione del bacino dell'Isonzo compreso tra l'abitato di Salcano (SLO) e l'abitato di Gradisca d'Isonzo (ITA), in particolare il tratto di asta fluviale che si snoda tra le due località (Figura 1). Dal punto di vista geografico, l'area studio si trova nel quadrante est della regione Friuli-Venezia Giulia, più precisamente a ridosso del confine sloveno nei pressi della città slovena di Nova Gorica. L'area studio presenta la tipica morfologia delle zone pedemontane, caratterizzata da rilievi di modesta elevazione che si raccordano con la pianura alluvionale circostante. In questa porzione del proprio bacino idrografico, il fiume Isonzo assume una morfologia di tipo *sinuoso* caratterizzata dalla presenza di un canale principale e di barre laterali alternate più o meno

svilupate. L'alveo è principalmente formato da sedimenti di tipo ghiaioso che ne conferiscono elevata permeabilità rispetto ai processi di interazione fiume-falda che si instaurano nella zona di sub-alveo. Immediatamente ad ovest dell'abitato di Savogna, l'Isonzo riceve il contributo del fiume Vipacco, il quale convoglia le acque provenienti dalle zone a vocazione principalmente agricola della municipalità di Ajdovscina (SLO). Dal punto di vista della gestione del corpo idrico, questa porzione del fiume Isonzo è stata scelta perché notoriamente affetta da pressioni a carattere transfrontaliero. La principale è l'invaso idroelettrico di Salcano, il quale genera il discusso fenomeno di hydropeaking che sembra ripercuotersi sul sostentamento dell'ecosistema fluviale e sulla sua qualità. Il tratto scelto, inoltre, offre la possibilità di avere una rete di monitoraggio consolidata e logisticamente accessibile anche nell'eventualità di monitoraggi congiunti con i partners sloveni.

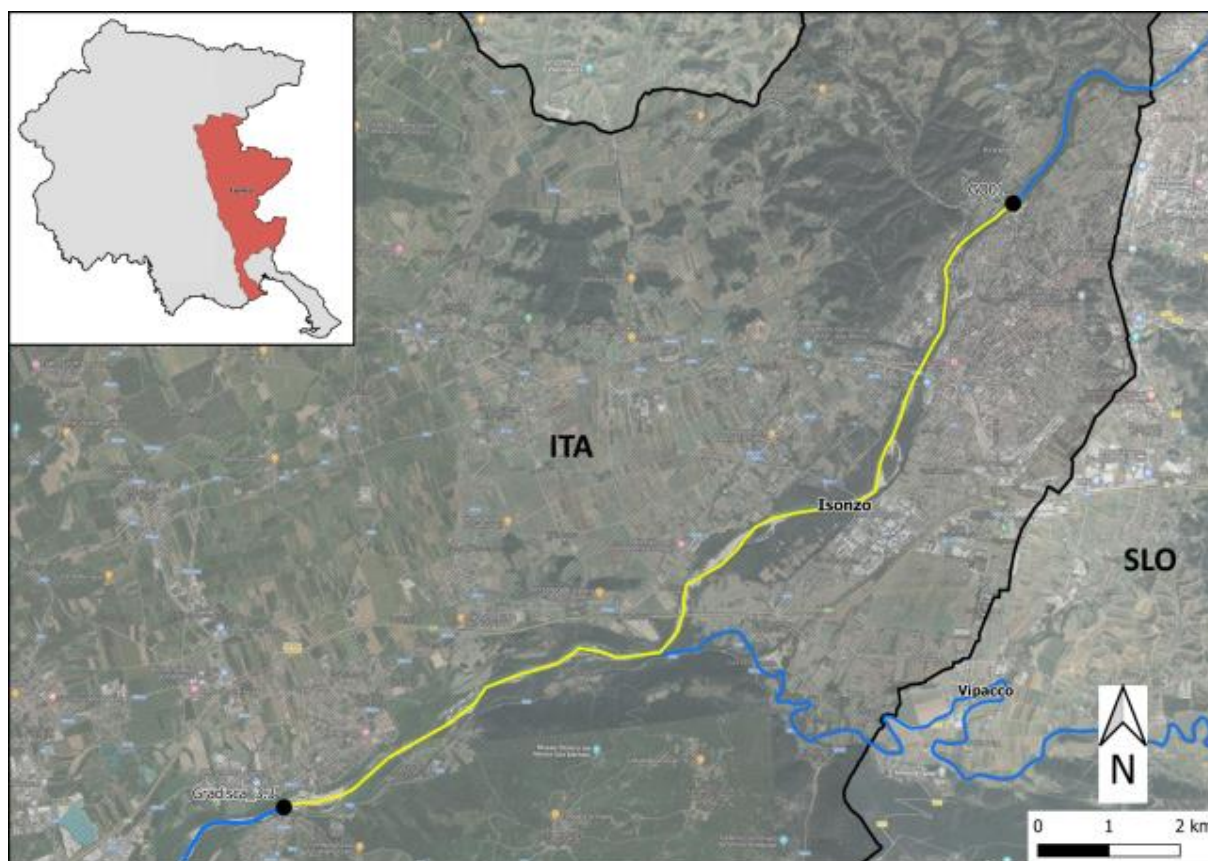


Figura 1 - Inquadramento dell'area studio con evidenziato (in giallo) il tratto di fiume Isonzo oggetto della stima della capacità di autodepurazione. Il poligono rosso nel focus regionale enfatizza il bacino dell'Isonzo in territorio italiano.

2.2 Origine dei dati

I dati necessari allo svolgimento della valutazione della capacità autodepurativa del fiume Isonzo sono sostanzialmente di due tipi: a) dati idrometrici; b) dati idrochimici.

I dati idrometrici sono fondamentali per valutare il regime idrologico del tratto di fiume in esame e, quindi, poter ricavare le informazioni e i parametri necessari alla realizzazione del modello di trasporto advettivo-dispersivo-reattivo (ADR) per la valutazione della capacità di autodepurazione. Tali dati provengono dalle stazioni di monitoraggio del servizio idrografico della regione Friuli-Venezia Giulia. Nello specifico, le stazioni utilizzate sono Gorizia- teleferica di Ponte Piuma (GO01) e Gradisca (3.3), rispettivamente posizionate agli estremi del tratto di fiume indagato (Figura 2). Tali stazioni si riferiscono a quelle ufficiali della Regione FVG - servizio idrografico.

La scelta di utilizzare questi due punti è legata alla disponibilità di serie temporali validate e continue nel tempo che consentano di stimare i parametri di deflusso in modo agevole. La stazione di Salcano, posta nell'estremo nord del tratto indagato, è stata utilizzata per effettuare delle considerazioni qualitative sul sistema ma non consente di effettuare analisi idrologiche accurate in quanto molto discontinua dal punto di vista temporale (presenza di ampi periodi di inattività). I dati acquisiti dalle stazioni idrometriche sono le serie temporali di livello idrometrico e di portata riferite all'anno 2020. Le serie fornite dalla regione FVG si estendevano a ritroso fino al 2018, ma contenevano buchi consistenti per gli anni 2018 e 2019. In base a queste lacune si è optato per ridurre le serie al solo anno 2020, il quale presentava la completa continuità dei dati. La riduzione al solo 2020 non comporta grosse perdite di informazione riguardo ai processi presenti nel tratto di fiume indagato, in quanto le pressioni antropiche presenti non variano durante gli anni. I loro effetti, quindi, sono sempre presenti nel regime idrologico del tratto indagato e permettono di considerarli pressoché “stazionari” nel tempo.

Per quanto riguarda i dati idrochimici, lo studio si è avvalso dei dati provenienti dalle campagne di monitoraggio previste da ARPA FVG. Tali campagne, svolte con frequenza mensile da febbraio a novembre (con esclusione dei mesi di marzo e aprile a causa delle restrizioni dovute al covid-19) (Tabella 1), hanno permesso di acquisire informazioni riguardo ai principali inquinanti delle acque dell'Isonzo e del Vipacco, legati all'agricoltura: pesticidi e composti dell'azoto. Al fine di definire i potenziali contaminanti agricoli da simulare nel modello di trasporto ADR, sono

stati ricercati 108 pesticidi valutandone la presenza significativa in base al superamento dei limiti definiti nel D.L. 172/2015. Le stazioni utilizzate per il monitoraggio sono quelle appartenenti alla rete DQA di ARPA FVG e le corrispettive in territorio sloveno gestite da ARSO (Agenzia Slovena per la Protezione Ambientale).

Tabella 1: campagna di campionamento effettuata lungo i corsi dei fiumi Isonzo e Vipacco da ARPA FVG del periodo febbraio-novembre 2021. W.P.: indica nell'ambito di quale work package sono state realizzate le analisi. Le sostanze misurate sono raggruppate per praticità in pacchetti analitici: CA - Composti dell'azoto; FT - Fitosanitari (corrispondenti ai pesticidi non polari); PPA - Pesticidi polari anionici.

Data campionamento			13/02/2020	21/05/2020	23/06/2020	16/07/2020	25/08/2020	16/09/2020	20/10/2020	24/11/2020
Fiume	W.P.	Sito	Pacchetti analitici							
Isonzo	3.2	Solkanski jez	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,PPA	PPA
	3.3	G001 Parco Piuma		CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA
	3.2	G003 Savogna d'Isonzo	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,PPA	PPA
	3.3;3.2	G014 Poggio III Armata	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA
Vipacco	3.2	Vipava/Vipacco Miren	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,PPA	PPA
	3.3	G005 Ponte di Rupa		CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA

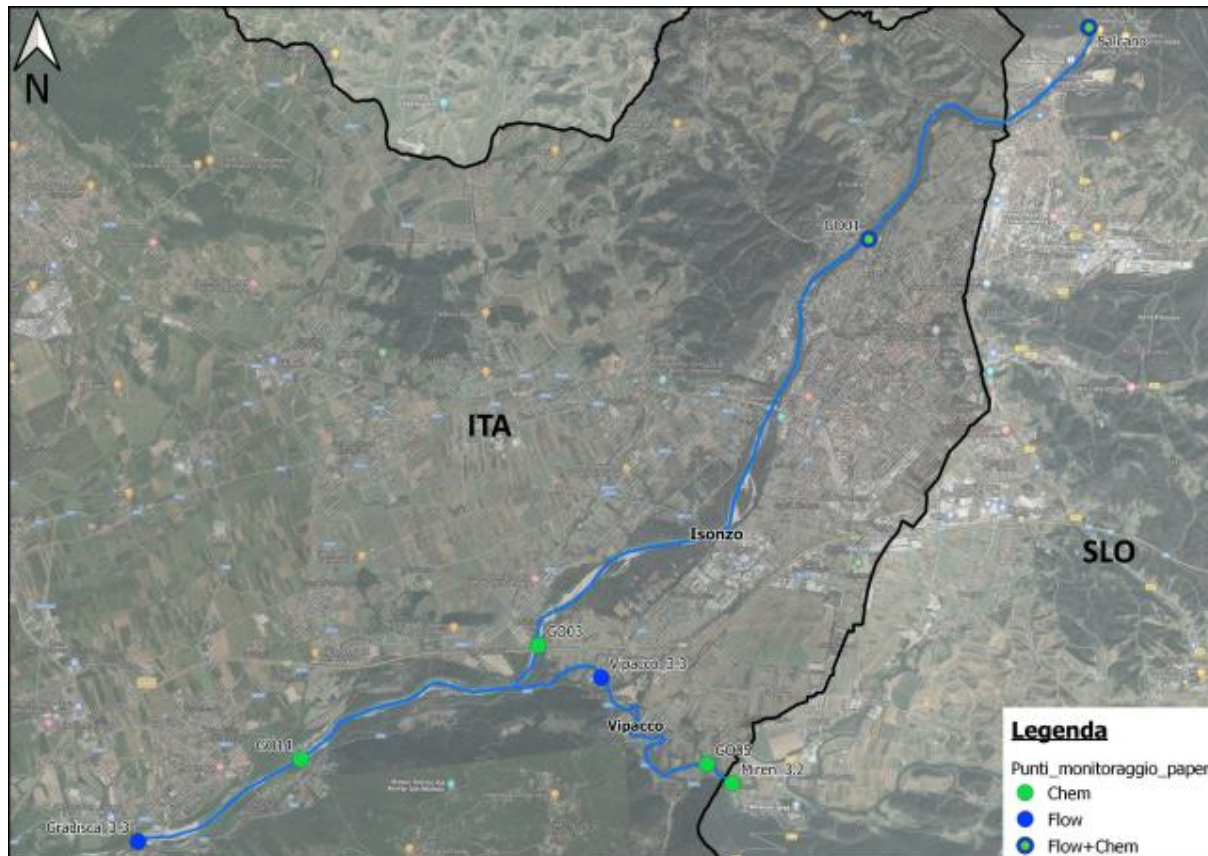


Figura 2 - Rete di monitoraggio dei parametri idrometrici (punti blu) e dei parametri idrochimici (punti verdi). Il simbolo punto blu con pallino verde denota la presenza di entrambe le tipologie di parametri.

2.3 Metodologie applicate

2.3.1 Metodologie di laboratorio per le analisi chimiche di ARPA

Pesticidi

Le analisi dei pesticidi nelle acque superficiali sono state effettuate utilizzando la tecnica “Ultra Performance Liquid Chromatography- Tandem Mass Spectrometry” (UPLC/ESI/MS/MS; Lucentini and Patriarca 2019) e permettono di determinare i risultati in un campo di concentrazione compreso tra 0,01 - 0,5 µg/L.

La tecnica UPLC/ESI/MS/MS abbina la separazione in cromatografia liquida ad alte prestazioni di una grande quantità di composti e la specificità quali-quantitativa della tecnica di rivelazione in tandem MS di ogni singolo composto, previa ionizzazione di tipo elettrospray (ESI). Ogni composto separato dalla colonna cromatografica viene identificato con il tempo di ritenzione (Rt) ed attraverso il

monitoraggio di almeno due transizioni parent-product. Il campione viene iniettato nel sistema cromatografico senza alcun pretrattamento (iniezione diretta tale quale). La tecnica Ion-Chromatography-High Resolution Mass Spectrometry (IC - HRMS; Lucentini and Patriarca 2019) viene utilizzata per erbicidi acidi in un campo di concentrazione compreso tra 0,01 - 0,5 µg/L (0,025 - 0,5 µg/L per AMPA).

Azoto totale

Il metodo ufficiale UNI 11658:2016 per l'analisi dell'azoto totale è basato su un test in cuvetta. La determinazione avviene previa ossidazione a caldo in un termoreattore con persolfato di potassio a 170 °C per 15 minuti. Gli ioni nitrato vengono quindi fatti reagire con 2,6 dimetilfenolo in ambiente acido (fosforico - solforico) per formare un composto colorato 4-nitro-2,6 dimetilfenolo che viene letto allo spettrofotometro direttamente in cuvetta di reazione. Il metodo è applicabile nell'intervallo 1-40 mg N/L.

Nitrati

Principio del metodo APAT IRSA CNR met 4020 man 29 2003. La determinazione dei nitrati è condotta mediante separazione in cromatografia ionica con colonna specifica ad alta capacità. Gli analiti vengono quindi rilevati mediante un rivelatore a conducibilità elettrica. Il metodo è applicabile nell'intervallo 0,1 - 200 mg/L.

Nitriti e ammoniacale

Il metodo prevede la determinazione dell'azoto ammoniacale (NH_4^+) e azoto nitroso (NO_2) con analisi colorimetrica mediante un analizzatore discreto e automatizzato (ISO 15923-1:2013). Per l'azoto ammoniacale (NH_4^+) l'intervallo di applicabilità è 0,04 - 2 mg/l e per i Nitriti NO_2 0,01 - 1,0 mg/L.

2.3.2 Valutazione capacità auto-depurativa dell'Isonzo

L'obiettivo dello studio è di comprendere la capacità autodepurativa del fiume Isonzo in funzione ai diversi regimi idrologici che si manifestano durante l'anno a causa del fenomeno dell'idropeaking. Per fare ciò, l'analisi è stata suddivisa in due fasi:

- A. Definizione dei parametri di velocità di deflusso e dispersione idrodinamica da utilizzare input nel modello di trasporto;

B. Applicazione della soluzione analitica per modellare il processo di trasporto ADR di un contaminante disciolto.

Nella prima fase è stato scelto di avvalersi dello studio delle cross-correlazioni tra la serie temporale della portata nella stazione di monte e quella della stazione di valle. Le cross-correlazioni, così come definite in letteratura (Jenkins and Watts 1968; Vanables and Ripley 2002), permettono di verificare la presenza di correlazione tra due serie temporali a diversi valori di sfasamento temporale. Nel caso del confronto tra idrogramma di monte e idrogramma di valle, la presenza di un valore significativo correlazione e il rispettivo lag temporale a cui essa si registra permette di individuare il tempo trascorso nel transito di un picco di piena tra le due sezioni monitorate. Quindi, conoscendo la distanza spaziale tra le due sezioni, è possibile ricavare con buona approssimazione la velocità media di deflusso del picco di piena. La stima della velocità di deflusso all'interno del sistema è di fondamentale importanza, in quanto parametro necessario per ricavare la dispersione idrodinamica del corso d'acqua e per risolvere l'equazione analitica del trasporto ADR. Dal momento che lo studio vuole valutare la capacità auto-depurativa ai diversi regimi idrologici dell'idropeaking, la procedura di stima delle velocità di deflusso è stata applicata solo per i mesi dell'anno in cui i picchi di portata dell'idropeaking non sono influenzati da eventi meteorici intensi. La presenza di eventi meteorici intensi e duraturi nel tempo può causare la formazione di piene che vanno a mascherare gli effetti dell'idropeaking. Una volta ottenute le velocità di deflusso relative al fenomeno dell'idropeaking (velocità minima e massima) e valutate le portate ad esse associate, le portate sono state utilizzate per stimare la dispersione idrodinamica. In letteratura esistono diverse equazioni empiriche per la stima della dispersione idrodinamica di un corso d'acqua superficiale (Deng et al. 2001; Etemad-Shahidi and Taghipour 2012), ognuna delle quali si riferisce a specifiche condizioni di deflusso (i.e.: piccoli torrenti montani, corsi d'acqua di alta pianura, etc.) Dato che il tratto in studio si trova nell'alta pianura friulana, la relazione scelta per stimare la dispersione idrodinamica è quella proposta da Tayfur nel 2009:

$$D_{idro} = 0.91Q + 9.94$$

Questa relazione, ottenuta tramite l'utilizzo della tecnica *Genetic Algorithm*, relaziona i valori di portata (Q) con la dispersione idrodinamica longitudinale (Didro), fornendo una buona approssimazione per corsi d'acqua come l'Isonzo che possiedono un regime idrologico tipico delle zone di alta e media pianura (Tayfur 2009).

Stimati i parametri di input necessari alla modellazione del trasporto, è possibile passare alla seconda fase dell'analisi. Nella seconda fase viene stimata la capacità di autodepurazione vera e propria attraverso un modello 1D del trasporto ADR lungo il tratto di fiume indagato. La scelta del modello da applicare è stata fatta in base alla qualità dei dati a disposizione (disponibilità e grado di dettaglio) e alla semplicità di applicazione. La scelta è ricaduta su un modello di tipo analitico, il quale richiede l'utilizzo di un numero di dati esiguo e facile da reperire. Inoltre, la sua implementazione è molto più agevole rispetto ad un modello numerico più complesso. Il modello analitico si basa sull'applicazione di un'ideale soluzione analitica dell'equazione differenziale del trasporto advettivo-dispersivo-reattivo (Van Genuchten et al. 2011).

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - kC + \gamma$$

Con R il fattore di ritardo dovuto ai processi di adsorbimento su matrice solida (per le acque superficiali può essere approssimato a 1), D la dispersione idrodinamica lungo la direzione di deflusso, v la velocità di deflusso dell'acqua, k il coefficiente di degradazione della sostanza e γ il tasso di produzione della sostanza da altri processi (termine di source/sink).

La scelta della soluzione analitica è commisurata al problema di trasporto che si vuole risolvere. Nel nostro caso l'obiettivo che si vuole raggiungere è la valutazione della capacità di auto-depurazione in funzione alle variazioni di portata generate dal fenomeno di hydropeaking. In questa direzione, si è scelto di applicare la soluzione analitica proposta da Hemond et al. 2014.

$$C(x, t) = \frac{Mi}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{(x-vt)^2}{4Dt}} e^{-kt}; Mi = m_i/Q$$

Dove $C(x, t)$ indica la concentrazione (g/m^3) calcolata alla distanza dal punto di immissione x (m) nell'istante di tempo t (sec), m_i rappresenta la massa di contaminante in input (g), Q è la portata del corso d'acqua (m^3/sec), v è la velocità di deflusso dell'acqua (m/s), D rappresenta la dispersione idrodinamica longitudinale (m^2/sec) e k il coefficiente di degradazione del contaminante in acqua ($1/\text{sec}$).

Tale soluzione analitica permette di simulare, in modo unidimensionale, la propagazione di un input istantaneo (delta di Dirac) di massa nota e costante in funzione delle condizioni idrodinamiche del fiume e dei processi di degradazione a cui è soggetto il contaminante immesso (Figura 3). Tra le diverse soluzioni

analitiche che solitamente si ritrovano in letteratura, quella di Hemond permette di comparare la diversa evoluzione spazio-temporale della concentrazione del contaminante in relazione a diverse condizioni idrodinamiche (differenti velocità di deflusso). Questo è possibile perché l'equazione considera come input la massa del composto e non la sua concentrazione. Se si utilizzasse una soluzione che utilizza la concentrazione (costante) come input, ad ogni variazione del flusso idrico verrebbe implicitamente aumentata la massa del composto in modo tale da mantenere costante la concentrazione immessa. Questo risulterebbe in un modello di propagazione non idoneo a valutare la capacità auto-depurativa a diversi regimi di flusso, in quanto verrebbero considerate masse in input differenti.

L'implementazione del modello analitico è stata effettuata in ambiente R, il quale permette di avere maggiore flessibilità computazionale e una gestione degli output più agevole.

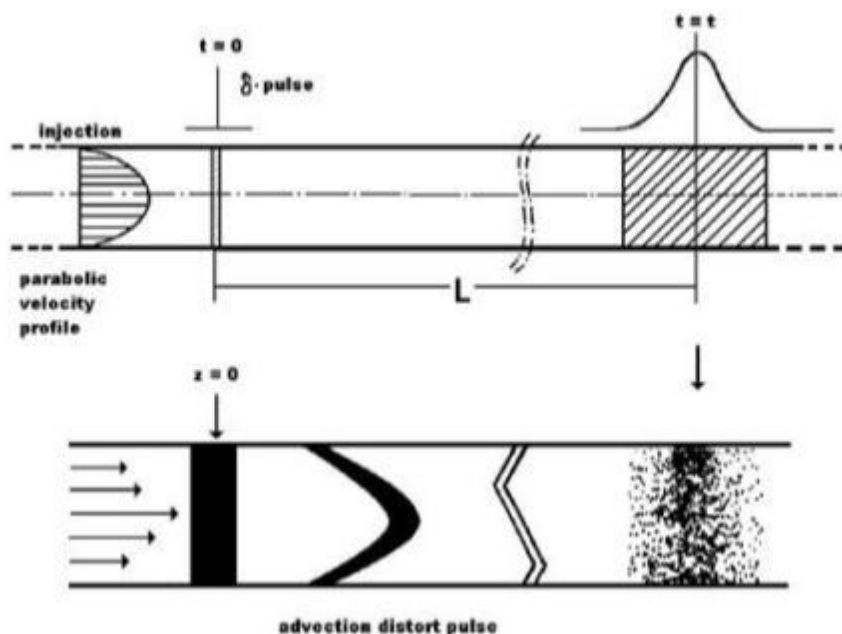


Figura 3 - rappresentazione schematica del trasporto advettivo-dispersivo-reattivo (ADR) in pulso (delta di Dirac - δ) di contaminante di massa nota e costante.

3. Risultati

3.1 Campagne chimiche ARPA FVG

Dalla campagna di monitoraggio non sono emerse particolari criticità per quanto riguarda la presenza di pesticidi lungo il tratto di Isonzo monitorato. Come

confermano anche i dati storici, le pressioni legate all'agricoltura tra i siti di Salcano e Gradisca non sono particolarmente evidenti. Nel complesso, delle sostanze analizzate, solo quattro (Acetamiprid, Fosetyl-Al, Glifosate e AMPA) sono state rilevate (>LOQ) e nessuna di esse supera gli standard di qualità ambientale (SQA) definiti per legge. Più problematica appare la realtà del Vipacco, per la quale le analisi fatte nelle stazioni attigue di Merna (in territorio sloveno) e di G0005 (500 m a valle della precedente, in territorio italiano) confermano la presenza significativa (>SQA -come media annua-) dell'acido amminometilfosfonico (AMPA), metabolita di degradazione del Glifosate. Sono inoltre presenti i fungicidi dimethomorph, metalaxyl, tebuconazole e gli erbicidi glifosate e DACT-atrazina. Nonostante ciò, il contributo del Vipacco non sembra influire in maniera significativa sulla qualità delle acque dell'Isonzo. Per quanto riguarda i composti dell'azoto, non sono state riscontrate particolari criticità.

Tabella 2: pesticidi rinvenuti nei vari siti monitorati in concentrazioni maggiori del relativo limite di quantificazione ("LOQ") tra i 108 analizzati. Sono indicati: il valore massimo rinvenuto per ciascun analita ("Max valore rilevato") e il relativo LOQ, il numero di campioni totali analizzati per ciascun analita ("n. campioni") e il numero di campioni dove l'analita è stato effettivamente rilevato ("n. campioni > LOQ"). Le caselle verdi indicano i siti dove l'analita è presente (> LOQ) ma inferiore al limite di legge (SQA) considerando la media annua, mentre le caselle gialle indicano i siti dove la media annua supera il valore SQA.

Analita	Max valore rilevato	LOQ	n. campioni	n. campioni > LOQ	U. misura	Sito					
						Solkanski jez	G001	G003	G014	Vipava-Miren	G005
Acetamiprid	0,01	0,01	36	1	µg/l						
AMPA	0,66	0,025	42	17	µg/l						
DACT	0,04	0,01	36	1	µg/l						
Dimethomorph	0,02	0,01	36	2	µg/l						
Fosetyl Alluminio	0,02	0,01	42	2	µg/l						
Glyphosate	0,12	0,01	42	11	µg/l						
Metalaxyl	0,03	0,01	36	4	µg/l						
Tebuconazole	0,02	0,01	36	2	µg/l						

3.2 Analisi idrometrica dell'Isonzo

L'analisi delle serie temporali di portata, acquisite nel 2020 presso le stazioni di monitoraggio G0001_3.3 e Gradisca_3.3, ha messo in evidenza, ancora una volta, come il tratto indagato del fiume Isonzo sia soggetto ad un regime idraulico fortemente antropizzato, in linea con studi precedenti (Regione FVG and AdB 2012). Le *Flow Duration Curves* (FDC) in Figura 4, ricostruita anche per la stazione slovena di Salcano (Solkan), mostrano dei bruschi cambi di pendenza e degli ampi tratti a sviluppo planare che evidenziano l'effetto di laminazione dovuto ai diversi sbarramenti lungo il tratto indagato. Tale regimazione è particolarmente evidente

nel passaggio da portate elevate (principalmente generate da eventi meteorici) a portate intermedie, e nella porzione terminale della curva corrispondente alle portate di baseflow. L'effetto di regimazione, tuttavia, si attenua procedendo da monte verso valle con particolare evidenza tra le stazioni GO01_3.3 e Gradisca_3.3. La FDC stimata alla stazione idrometrica di Gradisca sembra, infatti, recuperare una forma molto simile ad un regime naturale, probabilmente dovuta al contributo del torrente Versa che confluisce in prossimità dell'abitato di Savogna. La presenza di una regimazione idraulica pervasiva è evidente anche osservando gli andamenti delle *Auto-correlation function* (ACF) in Figura 4. Anche in questo caso sono ben visibili i bruschi cambiamenti di pendenza dovuti alla regimazione delle portate ad opera degli sbarramenti. Oltre a questo, l'analisi delle ACF permette di osservare il sempre presente fenomeno di hydropeaking dovuto ai cicli di svaso e invaso della centrale idroelettrica di Salcano. Osservando i grafici delle ACF per le stazioni GO01_3.3 e Gradisca_3.3 (Figura 4) si può, infatti, notare la presenza costante e periodica di picchi di auto-correlazione che si sovrappongono all'andamento generale della funzione stessa. Constatata la pervasività dell'idropeaking, la nostra analisi si è, quindi, focalizzata nell'individuare le caratteristiche idrodinamiche relative ai periodi in cui il regime di portata è affetto solo da tale fenomeno.

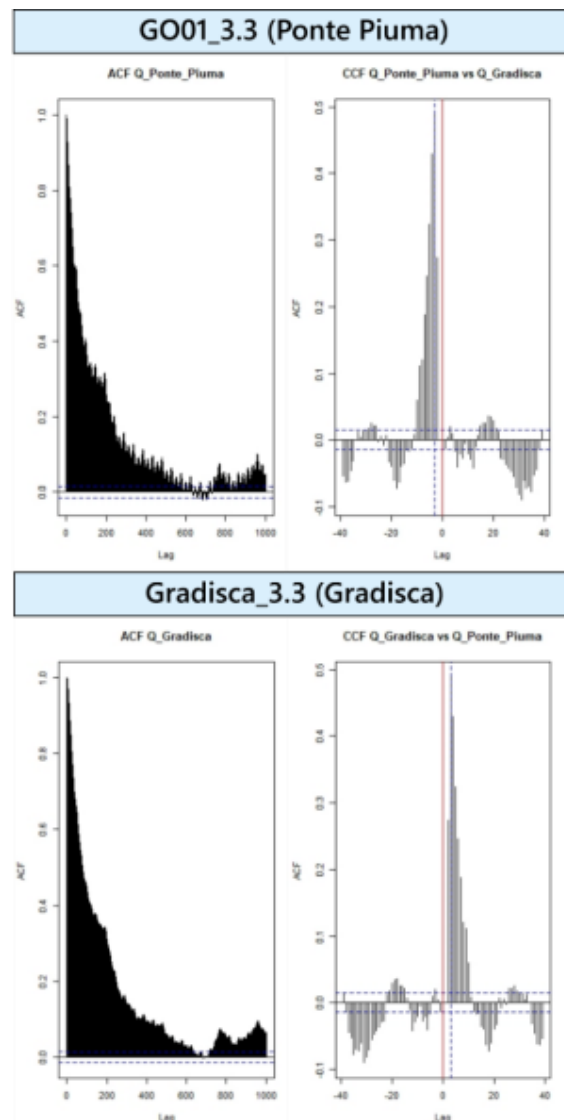
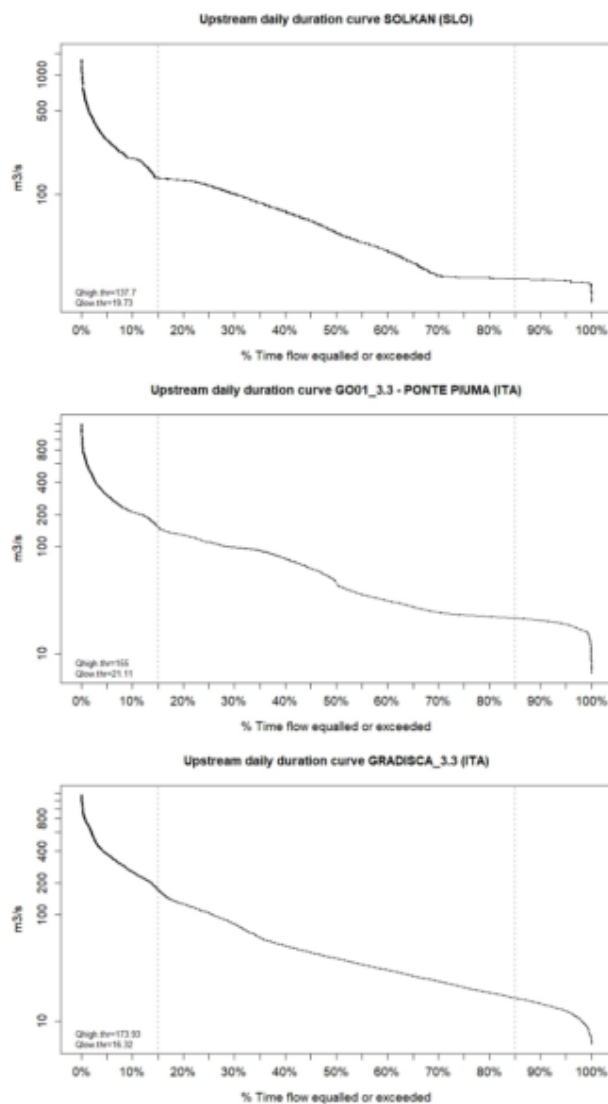


Figura 4 - Analisi dei regimi idrici del tratto di fiume Isonzo indagato. La parte sinistra della figura riporta le FDC costruite sulle portate defluenti nei punti di monitoraggio. La parte destra, invece, riporta le ACF e le CCF per i punti di monitoraggio GO01_3.3 e Gradisca_3.3.

Basandosi sull'andamento delle portate giornaliere defluite alle stazioni di GO01_3.3 e Gradisca_3.3, si sono individuati i mesi in cui gli eventi atmosferici non hanno generato piene capaci di mascherare il segnale periodico dell'idropeaking; quindi, sono state stimate le CCF relative alle portate di quei periodi (Figura 5).

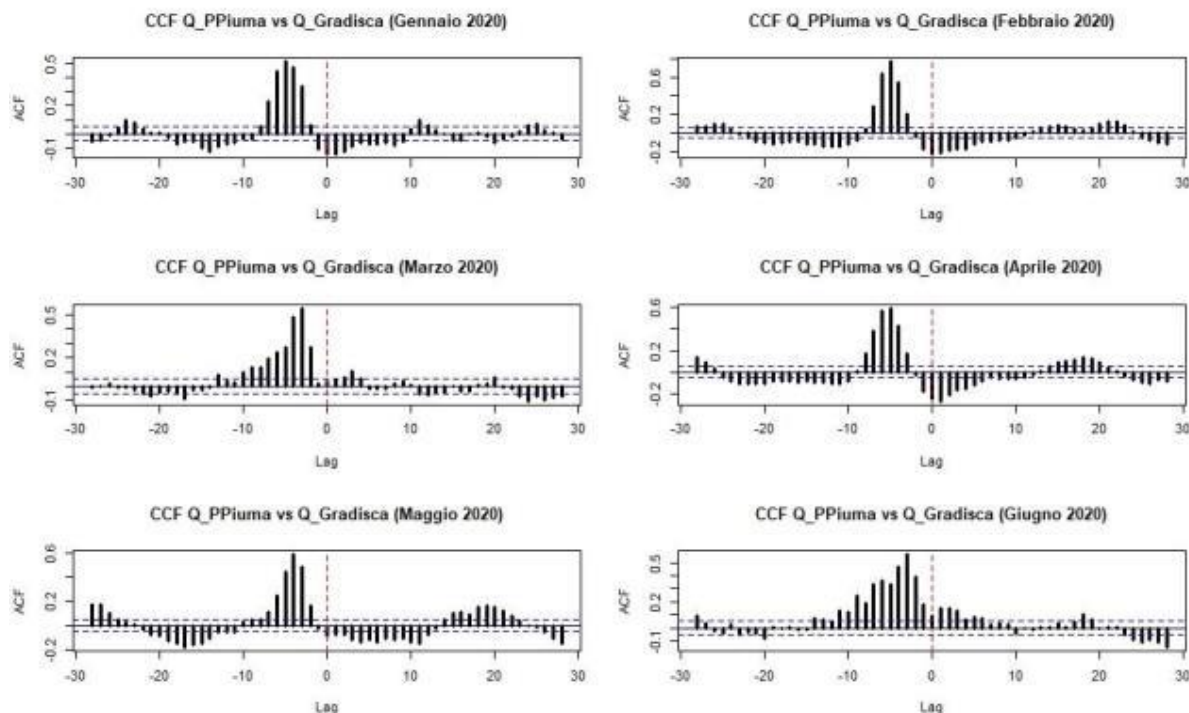


Figura 5 - CCF stimate nei mesi in cui prevale il fenomeno di hydropeaking tramite il confronto delle serie temporali delle portate a GO01_3.3 (sezione di monte) e a Gadisca_3.3 (sezione di valle). La linea rossa tratteggiata identifica il lag temporale zero (correlazione tra le serie valutata allo stesso istante temporale).

Lo studio delle CCF in Figura 5 ha consentito di stimare il tempo medio di percorrenza dell'onda di piena prodotta dall'apertura della diga di Salcano, quindi, di stimare la velocità media di deflusso in tali condizioni e la corrispettiva dispersione idrodinamica. Oltre a questi parametri, è stato possibile calcolare anche il tempo di transito quando viene ad instaurarsi la porta minima dovuta alla chiusura delle paratoie. Tali valori sono i seguenti (Tabella 1):

Tabella 1 - Parametri del deflusso stimati sulla base dell'analisi delle serie temporali delle portate. I dati si riferiscono solo al regime delle portate prodotto dal fenomeno di hydropeaking. High_Q_Hpeak identifica la portata massima generalmente prodotta dal rilascio alla diga di Salcano, mentre Low_Q_Hpeak identifica la minima portata mediamente prodotta dalla chiusura delle paratoie della diga.

Regime idrico	Q (m ³ /s)	v (m/s)	D _x (m ² /s)	Note
High_Q_Hpeak	130	1.64	128.24	Rilascio Salcano
Low_Q_Hpeak	20	0.9	28.14	Chiusura Salcano

I valori di velocità e di dispersione idrodinamica, relativi alle porte massima e minima generate dai cicli di svaso e invaso della centrale di Salcano, sono i

principali parametri di input per il modello di trasporto utilizzato per valutare la capacità autodepurativa del fiume.

3.3 Modello di trasporto per la capacità di autodepurazione

Il modello analitico di trasporto è stato strutturato sfruttando i parametri dedotti dall'analisi idrometrica e le indicazioni provenienti dalle campagne di monitoraggio effettuate da ARPA FVG. Il lavoro svolto da ARPA FVG ha permesso di valutare quali fossero le sostanze maggiormente presenti nel sistema e di identificarne una pilota per sviluppare le simulazioni di trasporto. La sostanza presa in esame è il Fosetil-Al, la quale si ritrova con concentrazioni maggiori del LOQ nel sito più a monte tra quelli analizzati. La presenza di tale sostanza permette di simulare una condizione di reale contaminazione dovuta alle lavorazioni agricole (i.e.: trattamento anticrittogamico) e di modellarla per tutta la lunghezza del tratto di fiume indagato. Il modello è stato applicato ai tre diversi scenari in Tabella 2, i quali ripropongono tre diversi regimi di portata presenti nel fiume Isonzo.

Tabella 2 - Scenari utilizzati per la realizzazione del modello di auto-depurazione con i rispettivi parametri di deflusso.

Scenario	Q (m ³ /s)	v (m/s)	D _x (m ² /s)	Note
High_Q_Hpeak	130	1.64	128.24	Rilascio Salcano
Low_Q_Hpeak	20	0.9	28.14	Chiusura Salcano
Optimal_Q_FVG	45	1.11	50.89	Continuità idrica

I primi due scenari rappresentano i regimi di portata descritti nel precedente paragrafo per l'idropeaking; mentre il terzo, denominato Optimal_Q_FVG, rappresenta la situazione in cui venga rilasciato un deflusso minimo di 45 m³/s dalla diga di Salcano. Questo scenario è stato introdotto per simulare la capacità autodepurativa dell'Isonzo qualora venga rilasciata la portata minima necessaria ad assicurare la continuità fluviale nell'asta dell'Isonzo. Tale dato è stato stimato dalla Regione FVG nell'ambito dello stesso progetto GREVISLIN, quindi, sembrava doveroso proporre uno scenario che contemplasse quanto desunto da studi affini.

Il modello permette di valutare la variazione della concentrazione di un contaminante nello spazio e nel tempo, in funzione del regime idrico (portata) che si presenta nel corso d'acqua. In un contesto simile a quello dell'area studio, le componenti di advezione e dispersione del trasporto hanno una rilevanza maggiore rispetto a quella reattiva, in quanto il tempo di dimezzamento del pesticida è maggiore del suo tempo di residenza nel sistema. Ciò implica che

l'autodepurazione possa essere interpretata, principalmente, come processo diluitivo.

Il modello è stato settato per simulare l'immissione puntuale ed istantanea di una massa costante di Fosetyl-Al pari a 10 g. I risultati ottenuti sono stati estratti con una risoluzione spaziale di 250 m (lungo la direzione di deflusso) e una risoluzione temporale di 60 sec. In Figura 6 e 7 sono riportati alcuni risultati del modello, rispettivamente in funzione della distanza e del tempo.

Come si evince dalla Figura 6 (concentrazioni vs distanza), le concentrazioni di Fosetyl-Al rimangono più elevate per portate minori (curva arancio) e richiedono tempi di transito nel sistema maggiori. Questo implica che la sostanza rimane disponibile per la componente bentonica più a lungo, provocando potenziali effetti negativi sull'ecosistema fluviale. Viceversa, una portata maggiore permette una maggiore riduzione delle concentrazioni di Fosetyl-Al e tempi di residenza minori, fornendo, quindi, una maggiore capacità di autodepurazione del fiume stesso.

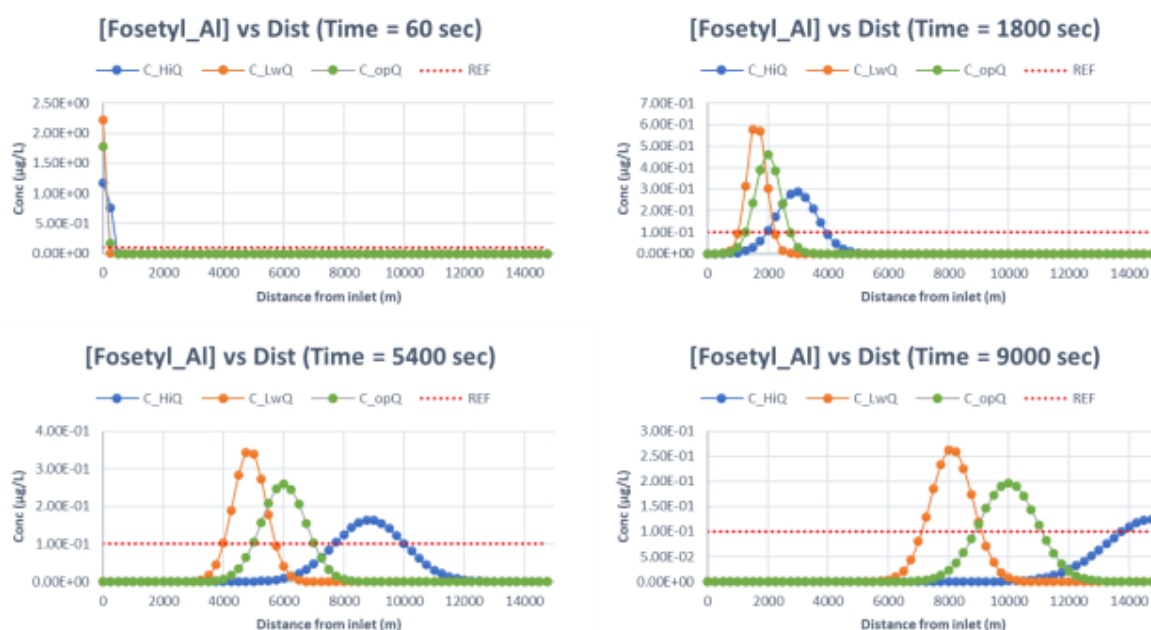


Figura 6 - Evoluzione spaziale delle concentrazioni di Fosetyl-Al (massa immessa in modo istantaneo) valutata a differenti istanti temporali dal momento dell'immissione (Time = 0 sec).

Questo comportamento è confermato dai risultati presenti in Figura 7 (concentrazioni vs tempo). Anche qui, una portata più bassa allunga i tempi di residenza del composto e allo stesso tempo non favorisce il fenomeno dispersivo per l'abbassamento delle concentrazioni sotto il limite di legge (linea rossa

tratteggiata). La condizione migliore sembrerebbe essere quella relativa al rilascio di una portata di 130 m³/s ma che implicherebbe ripercussioni economiche sostanziali sulla produzione elettrica della centrale di Salcano. Una condizione intermedia sembra essere il valore di portata proposto dalla Regione FVG (curve verdi), il quale permetterebbe di ottenere una discreta capacità autodepurativa e allo stesso tempo la continuità fluviale per garantire i processi ecosistemici del fiume stesso.

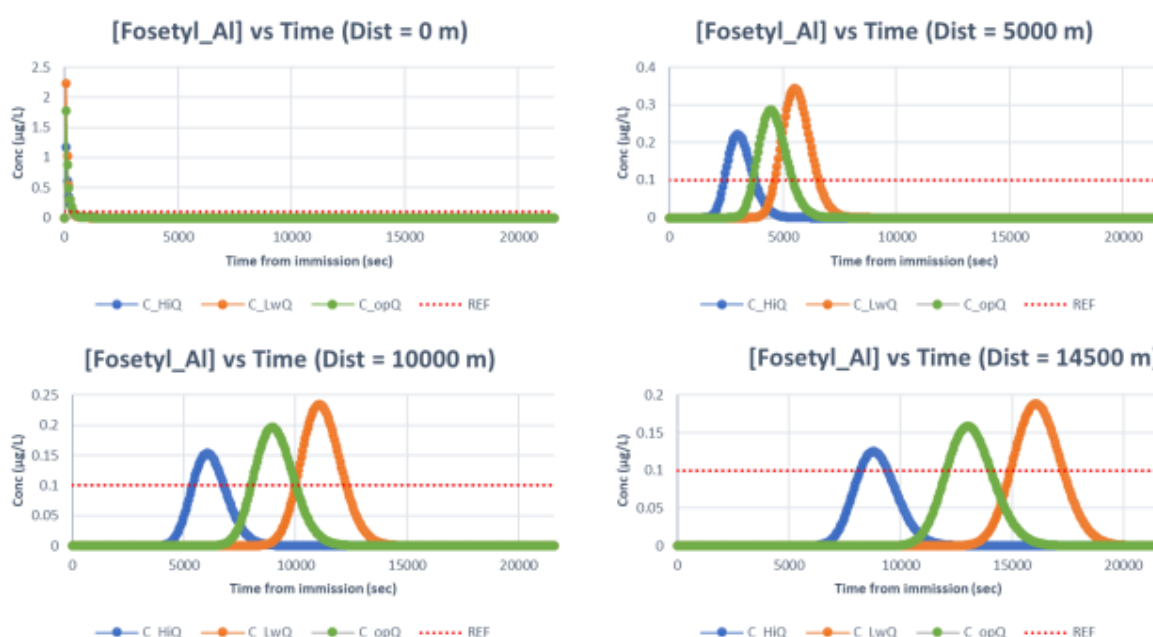


Figura 7 - Evoluzione temporale delle concentrazioni di Fosetyl-Al (massa immessa in modo istantaneo) valutata a differenti distanze spaziali dal punto di immissione (Dist = 0 m = punto di monitoraggio GO01_3.3).

Valutando i risultati del modello in uno spazio 3D (Concentrazioni vs. Piano spazio-temporale) come quello in figura 8, è possibile osservare, meglio, quanto già descritto nei precedenti capoversi. In questa visione 3D del sistema concentrazioni-spazio-tempo, è subito evidente come il sistema fluviale aumenti la sua capacità auto-depurativa all'aumentare della portata defluente. Si nota, infatti, come per la portata di 130 m³/s la “dorsale” delle concentrazioni sia molto meno elevata e si attenui in tempi più brevi (figura 8A); mentre per la portata di 20 m³/s essa si presenta molto più marcata (figura 8B).

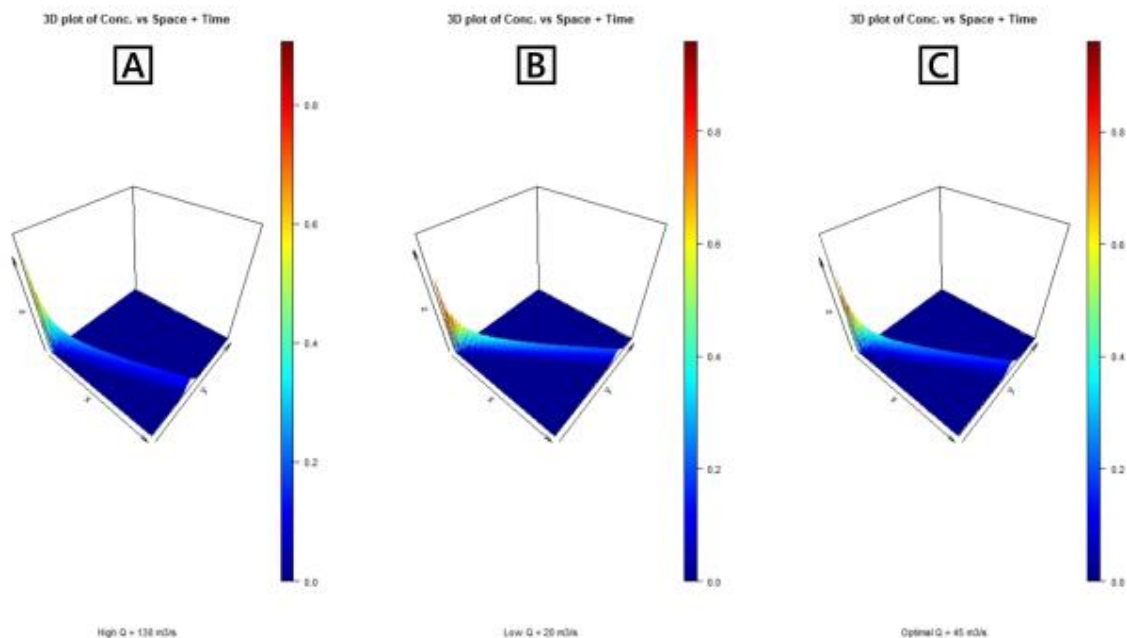


Figura - Rappresentazione nello spazio 3D "spazio-tempo-concentrazione" dell'evoluzione della curva di auto-depurazione del Fosetyl-Al, in funzione degli scenari di portata defluente nel sistema descritti in tabella 2.

In linea con quanto ottenuto dal modello di immissione istantanea sopra descritto, si è deciso di applicare il nuovo tool ORGANICS per simulare l'immissione di Fosetyl-Al attraverso un'immissione finita nel tempo (immissione di durata pari a 1 ora). In questo modo si è potuto rappresentare un evento di contaminazione che può verificarsi giornalmente in un sistema fluviale (scarico urbano, etc.). La figura 9 mostra la sequenza di trasporto del contaminante immesso nel sistema nel caso in cui la portata sia pari a 45 m³/s, ovvero la portata ritenuta essere ottimale per garantire la continuità idrica dell'Isonzo. Quello che si nota è che, nell'arco di circa sette ore dall'immissione, la massa di contaminante immessa viene diluita e le concentrazioni ridotte in maniera significativa all'interno del tratto studiato. Osservando la sequenza dei frame in Figura 8, si nota, infatti, un dimezzamento delle concentrazioni nella zona centrale del plume di contaminazione (si passa da 1.5 µg/L a circa 0.75 µg/L). La stessa simulazione è stata effettuata anche per le portate minime e massime descritte nelle elaborazioni precedenti e quello che si evince è una riconferma del fatto che una maggiore quantità d'acqua transigente all'interno del fiume Isonzo può effettivamente migliorare la capacità di autodepurazione rispetto all'immissione di un contaminante.

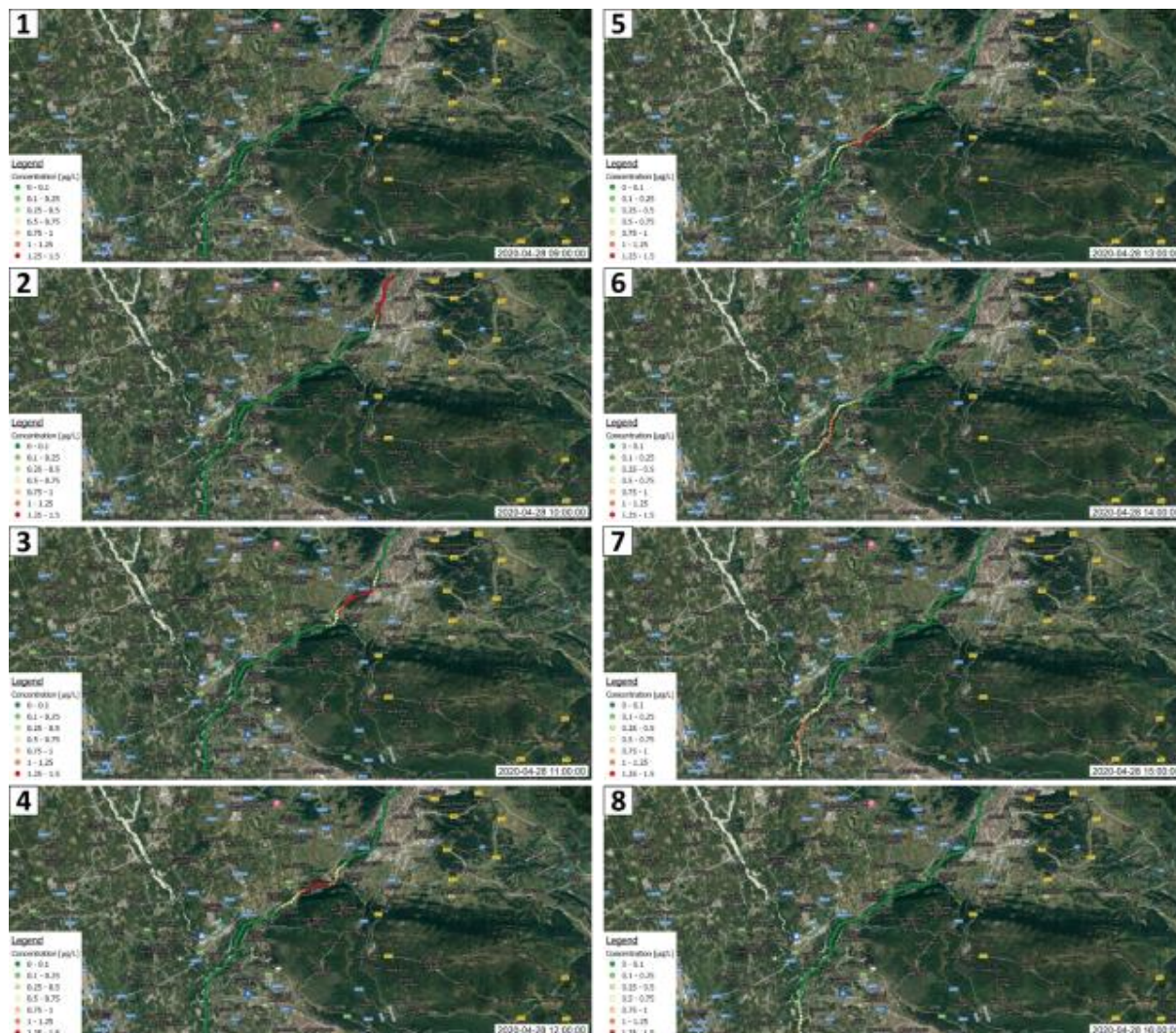


Figura 9 - Mappe di evoluzione spazio-temporale del plume di Fosetyl-Al prodotto dall'immissione costante ma limitata nel tempo (durata dell'immissione pari a un'ora) di una massa nota di contaminante. L'elaborazione è stata prodotta tramite il nuovo plug-in ORGANICS. L'immagine rappresenta l'evoluzione delle concentrazioni a intervalli temporali di un'ora.

4. Conclusioni

Lo studio descritto nei paragrafi precedenti ha permesso di ottenere utili informazioni per ottimizzare la gestione del sistema fluviale dell'Isonzo, sia dal punto di vista idrologico che dal punto di vista ecologico. Ciò che se ne ricava può essere riassunto in quanto segue.

Lo studio chimico condotto da ARPA FVG rispetto alla qualità delle acque fluviali denota un limitato impatto dovuto alle pressioni puntuali (scarichi

urbani/industriali) e diffuse (lavorazioni agricole) presenti nel territorio. Il tratto di fiume Isonzo indagato non mostra superamenti degli SQA nazionali. Solamente alcuni dei pesticidi indagati risultano rilevabili ($>LOQ$), come per esempio il Fosetyl-Al. Il fiume Vipacco presenta una maggiore concentrazione di principi attivi (glifosate, dimetomorph, etc.) provenienti dal comparto agricolo dell'area slovena. Tuttavia, a valle della confluenza con l'Isonzo, tali principi attivi si riportano sotto gli SQA di riferimento, delineando, quindi, uno stato ambientale accettabile. Sebbene non si riscontri una significativa criticità, lo studio ci fornisce ugualmente indicazioni utili al mantenimento e al miglioramento dello stato ambientale.

Per quanto riguarda la capacità di autodepurazione dell'Isonzo, lo studio ha permesso di ottenere molte informazioni utili, una su tutte il fatto che essa sia principalmente regolata dalla portata defluente nel corso d'acqua. Maggiore è la portata, più è efficiente il processo di auto-depurazione dovuto alle dinamiche del trasporto advettivo-dispersivo. Questa informazione risulta essere molto utile per l'efficientamento delle portate derivate in un'ottica di sostenibilità ambientale.

Come già discusso in studi precedenti, la criticità maggiore presente nel sistema Isonzo è dovuta al fenomeno dell'hydropeaking. La modellazione sviluppata (ADR) ha permesso di valutare in modo quantitativo l'effetto negativo prodotto dalle periodiche variazioni di portata che si verificano quotidianamente. L'instaurarsi di queste continue fluttuazioni, soprattutto le condizioni prolungate di basso flusso, generano una variazione significativa della capacità di autodepurazione contraddistinta da maggiori tempi di residenza dei contaminati e, quindi, una loro maggiore biodisponibilità.

In un'ottica di salvaguardia e tutela del corso d'acqua e dei sistemi ad esso ecologicamente connessi (principio della WFD 2000/60/EC), il tool sviluppato e le informazioni acquisite si presentano come efficaci ausili per migliorare la pianificazione e la gestione dell'assetto derivatorio presente. I risultati ottenuti denotano la necessità di aumentare ed omogeneizzare le portate presenti in alveo, al fine di garantire l'efficienza dei processi auto-depurativi nonché la buona qualità delle acque e dell'ecosistema fluviale. Tali considerazioni sono in linea con lo studio di continuità idrica del fiume Isonzo, sviluppato nell'ambito del progetto dalla Regione FVG tramite la società Terra s.r.l.

Lo studio effettuato non vuole porsi come punto di arrivo, bensì come punto di partenza per lo sviluppo di metodologie e protocolli di gestione atti ad ottimizzare le pratiche di gestione dell'ambiente fluviale e le infrastrutture verdi associate

rispetto all'interazione con le imprescindibili attività antropiche presenti nel territorio.

5. Bibliografia

- ❖ 79/409/CEE (1979). Council Directive 79/409/EEC of 2 April 1979 on the conservation of wild birds. Official Journal L 103, 25/04/1979 P. 0001 - 0018.
- ❖ 92/43/CEE (1992). Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L 206, 22/07/1992 P. 0007 - 0050.
- ❖ APAT IRSA CNR (2003). Metodi analitici per le acque - Vol.2 sezione 4020. APAT, Rapporti 29/2003. ISBN: 88-448-0083-7.
- ❖ Deng, Z. Q., Singh, V. P., & Bengtsson, L. (2001). Longitudinal dispersion coefficient in straight rivers. Journal of hydraulic engineering, 127(11), 919-927.
- ❖ Etemad-Shahidi, A., & Taghipour, M. (2012). Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams using M5' model tree. Journal of hydraulic engineering, 138(6), 542-554.
- ❖ Hemond, H. F., & Fechner, E. J. (2014). Chemical fate and transport in the environment. Elsevier.
- ❖ ISO 15923-1:2013 (2013). Water quality - Determination of selected parameters by discrete analysis systems – Part 1: Ammonium, nitrate, nitrite, chloride, orthophosphate, sulfate and silicate with photometric detection.
- ❖ Jenkins, G. M., and D. G. Watts (1968). Spectral Analyses and Its Applications. 525 pp., Holden-Day, San Francisco, California.
- ❖ Lucentini L, Patriarca M per la Sottocommissione del Comitato permanente di Studio sulle Acque del Ministero della Salute (ex art. 9 DM 26 marzo 1991) (Ed.). Metodi analitici per il controllo delle acque da destinare e destinate al consumo umano ai sensi del DL.vo 31/2001 e s.m.i. Metodi chimici. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2019. (Rapporti ISTISAN 19/7).
- ❖ Regione FVG and AdB (2012). Laboratorio Isonzo: Percorso partecipato per individuare proposte condivise sulla gestione transfrontaliera delle portate del fiume Isonzo in relazione agli impegni assunti dall'Italia negli Accordi di Osimo. Documento conclusivo, maggio 2012, www.laboratorioisonzo.it.

- ❖ Tayfur, G. (2009). GA-optimized model predicts dispersion coefficient in natural channels. *Hydrol. Res.*, 40(1), 65-75.
- ❖ UNI 11658:2016 (2016). Qualità dell'acqua - Determinazione dell'Azoto Totale in acque di scarico, naturali e destinate al consumo umano mediante test in cuvetta. ICS: 13.060.01.
- ❖ van Genuchten, M. T., Leij, F. J., Skaggs, T. H., Toride, N., Bradford, S. A., & Pontedeiro, E. M. (2013). Exact analytical solutions for contaminant transport in rivers 1. The equilibrium advection-dispersion equation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 61(2), 146-160.
- ❖ Venables, W. N. and Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer-Verlag.
- ❖ WFD 2000/60/EC (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal L 327*, 22/12/2000 P. 0001 - 0073.

Opis projekta

Glavni splošni cilj projekta GREVISLIN (projekt, ki je financiran v okviru programa Interreg VA Italija-Slovenija 2014-2020) je razvijati trajnostno celostno kohezivno čezmejno območje z jasno dolgoročno strategijo na področju upravljanja zelene infrastrukture, krepiti ozaveščenost in ukrepe za trajnostni čezmejni razvoj. Skupni izziv je vzpostaviti dolgoročno čezmejno strateško načrtovanje razvoja in varstva zelene infrastrukture, dolgoročno spremljanje stanja voda in biotske raznovrstnosti habitatov, izvesti pilotne aktivnosti in naložbe vzpostavitve zelenih infrastruktur na območju NATURA 2000 ter povečevanje ozaveščenosti ciljnih skupin o pomenu trajnostnega upravljanja z vodami, zavarovanih območij ter gozdnih in kmetijskih površin.

VREDNOST PROJEKTA: 2.940.032,53€

PRISPEVEK ESRR: 2.499.027,63€

TRAJANJE: 39 mesecev

ZAČETEK: 15.11.2018 - KONEC: 14.02.2022

VODILNI PARTNER:

RRA severne Primorske d.o.o. Nova Gorica

PROJEKTNI PARTNERJI:

Občina Ajdovščina; Občina Nova Gorica; Inštitut za Vode Republike Slovenije; Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO); Občina Postojna; Urad za vodno območje Vzhodnih Alp; Avtonomna Dežela Furlanija - Julijska krajina - Centralna direkcija za okolje in energetiko - Služba za upravljanje z vodnimi viri; Deželna agencija za varstvo okolja Furlanije Julijske krajine; Konzorcij "Consorzio di Bonifica della Venezia Giulia"; Občina Staranzano; Dežela Benečija; Beneška agencija za inovacije v primarnem sektorju - Veneto Agricoltura

www.ita-slo.eu/grevislin

Analiza samočistilne zmogljivosti odseka reke Soče med Solkanom in Gradiščem ob Soči (WP 3.3 - ATT. 11)

Dalla Libera N.(a), Pasini S.(a), Cisotto A.(a), Bisaglia M.(a), Braidot A.(a), Gaiola G.(b), Zorza R. (b), Pezzetta E. (b), Mattiussi M. (b), Zanello A. (b)

(c) *Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali (AdB AO), Venezia, Italia.*

(d) *Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG), Trieste, Italia.*

6. Uvod

Za pravilno upravljanje porečja Soče in njenih okoljskih problemov je med drugim potrebno tesno sodelovanje med državami, ki si delijo njeno ozemlje. S tem namenom je cilj projekta GREVISLIN INTERREG Italija-Slovenija utrditi odnose med pristojnimi institucijami, predvsem pa izboljšati opredelitev skupnih praks ravnanja z okoljem.

Glede načel, izraženih v evropskih smernicah WFD 2000/60/ES, 92/43/EGS v 79/409/EGS, so bile opredeljene okoljske raziskave in dejavnosti modeliranja, ki lahko nudijo veljavno podporo pri ocenjevanju obstoječih antropogenih pritiskov porečja. Cilj analize je torej količinsko opredeliti možne učinke antropogenih dejavnosti na kakovost površinskih vod in možne posledice na območjih, ki so hidrološko povezane z rečnim sistemom.

V sklopu različnih delovnih paketov (WP), iz katerih je sestavljen projekt GREVISLIN, je ta analiza del aktivnosti, predvidenih v delovnem paketu (WP) 3.3. Te aktivnosti predvidevajo razvoj sistema za analizo vplivov kmetijstva, ki temelji na okoljskih podatkih in o uporabi pesticidov, vrednotenju možnih učinkov kmetijskih praks na rečne vode in sorodna zavarovana območja.

Za območje reke Soče, ki ga raziskujemo, je značilna prisotnost različnih vrst antropogenih dejavnosti, ki so delno opredeljene - v okviru načrtovanja povodja v zvezi s smernico 2000/60/ES - in znatnih pritiskov, ki lahko sedaj ali v prihodnosti ogrozijo kakovost obstoječih vodnih telesih. Prva posodobitev načrta upravljanja vodnega območja Vzhodnih Alp, sprejetega decembra 2015, predstavlja in opisuje omenjeno problematiko, ki je postala predmet podrobnejše analize v projektu GREVISLIN. Na čezmejno porečje Soče ne vplivajo le razširjen "kmetijski" pritisk,

ampak tudi različni drugi pritiski (tj.: mestni in industrijski odtoki), med katerimi izstopa tisti, ki je povezan s sistem za preusmeritev voda. Trenutna izvedena struktura je videti kot kompleksen sistem upravljanja z rečnimi vodami, ki zagotavlja oskrbo z vodo za različne gospodarske dejavnosti na območju. Čeprav ima pridobivanje vode iz reke pomembno funkcijo, pa sproža obenem tudi različne negativne procese ki otežujejo pravilno delovanje rečnega sistema, tako hidrološkega kot ekološkega. Glavni, a ne edini, je pojav vodnega vrha ki nastane zaradi zaježitve pri hidroelektrarni Solkan.

V tej smeri so aktivnosti, ki jih izvajajo sodelujoči partnerji, usmerjene v izgradnjo orodja za modeliranje, ki omogoča kvantitativno oceno vpliva pritiskov »kmetijstva« in »sistema za preusmeritev vode« na kakovost rečnih voda ter hkrati na oceno posledic, ki izhajajo iz uporabe različnih scenarijev upravljanja reke na zmogljivost samočiščenja.

Spremljanje slednjih je namenjeno kalibraciji dejavnikov zmanjšanja obremenitev onesnaževalcev vodotoka, torej spodbujanju znanja za podporo pravilnemu upravljanju območij, povezanih z rečnim sistemom. V okviru reke Soče so ta območja tista, ki spadajo v območje Nature 2000, kot je naravni rezervat Ustja Soče - Isola della Cona. Poleg tega bi lahko isto orodje za modeliranje pomagalo tako okoljskemu načrtovanju kot učinkovitejšemu izvajanju okvirne smernice o vodah (2000/60/ES).

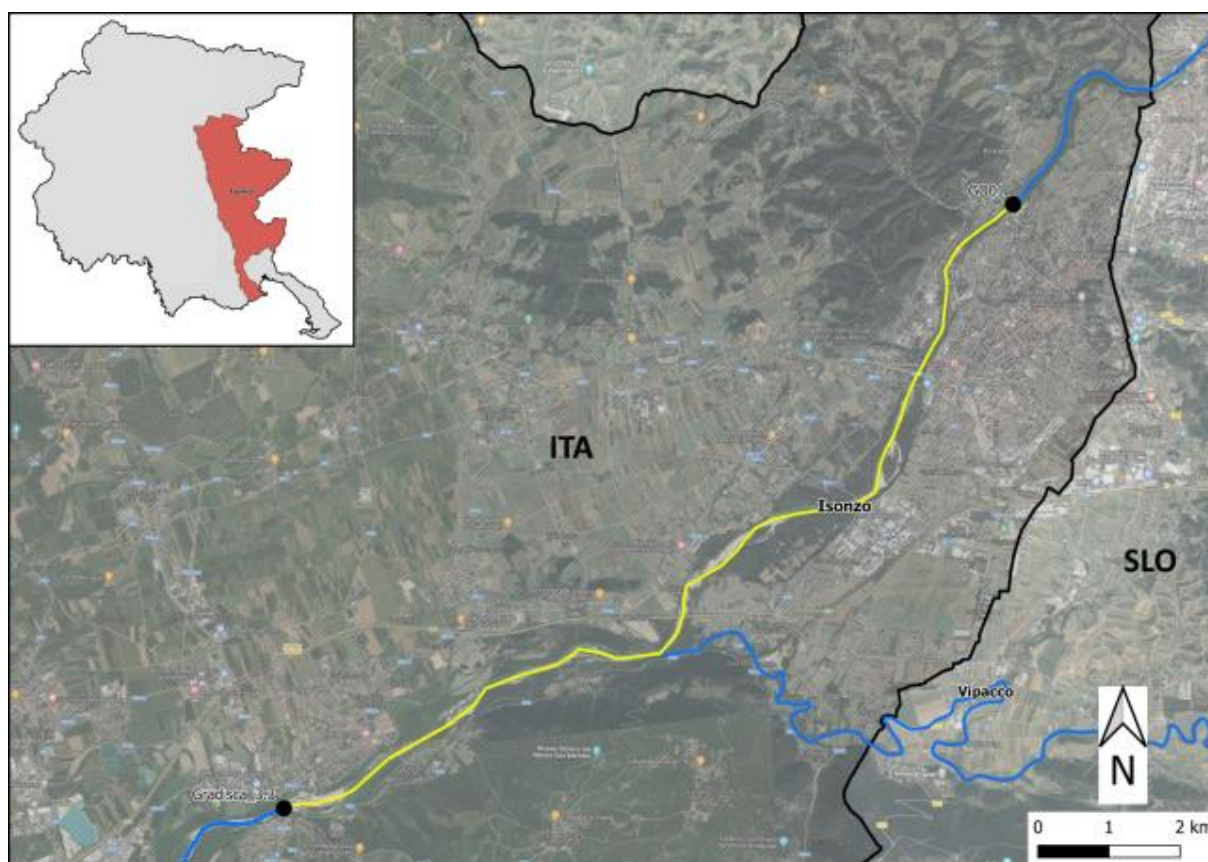
7. Materiali in metode

2.4 Analizirano območje

Analizirano območje zajema del porečja Soče med naselednjima območjema Solkan (SLO) in Gradiščem ob Soči (ITA), zlasti odsek reke, ki teče med dvema lokacijama (slika 1). Z geografskega vidika se preučevano območje nahaja v vzhodnem kvadrantu Furlanije-Julijske krajine, natančneje blizu slovenske meje v bližini slovenskega mesta Nova Gorica. Analizirano območje ima značilno morfologijo predgorja, za katero so značilni reliefi zmerne višine, ki se povezujejo z okoliško aluvialno ravnino. V tem delu svojega hidrografskega porečja ima reka Soča *vijugasto* morfologijo, za katero je značilna prisotnost glavnega kanala in izmeničnih, bolj ali manj razvitih, stranskih nasipov. Strugo v glavnem tvorijo sedimenti prodnatega tipa, ki ji dajejo visoko prepustnost glede na procese interakcije med reko in vodonosnikom, ki se vzpostavijo v podrečnem območju. Neposredno zahodno od mesta Savodnje ob Soči, sotočje reke Soče in Vipave, Soča pridobi doprinos reke Vipave, ki prenaša vode s pretežno kmetijskih območij občine



Ajdovščina (SLO). Z vidika upravljanja vodnih teles je bil ta del reke Soče izbran, saj nanj izrazito vpliva čezmejni pritisk. Glavni pritisk je rezervoar hidroelektrarne Solkan, ki povzroča kontroverzni pojav vodnega vrha, zdi se, da vpliva na preživetje rečnega ekosistema in njegovo kakovost. Izbrani odsek ponuja možnost vzpostavitve konsolidirane in logistično dostopne nadzorne mreže tudi v primeru skupnega spremljanja s slovenskimi partnerji.



Slika 1 - Okvir analiziranega območja z označenim odsekom reke Soške (z rumeno), ki je predmet ocene zmogljivosti samočiščenja. Rdeči poligon v regionalnem osredotočenju poudarja soško kotlino v Italiji.

2.5 Izvor podatkov

Podatka, potrebna za izvedbo analize samoočiševalne zmogljivosti reke Soče, sta dveh vrst: a) hidrometrični podatki; b) hidrokemijski podatki.

Hidrometrični podatki so bistvenega pomena za oceno hidrološkega režima analiziranega odseka reke, torej za pridobitev informacij in parametrov, potrebnih za izdelavo advektivno-disperzivno-reaktivnega (ADR) transportnega modela za

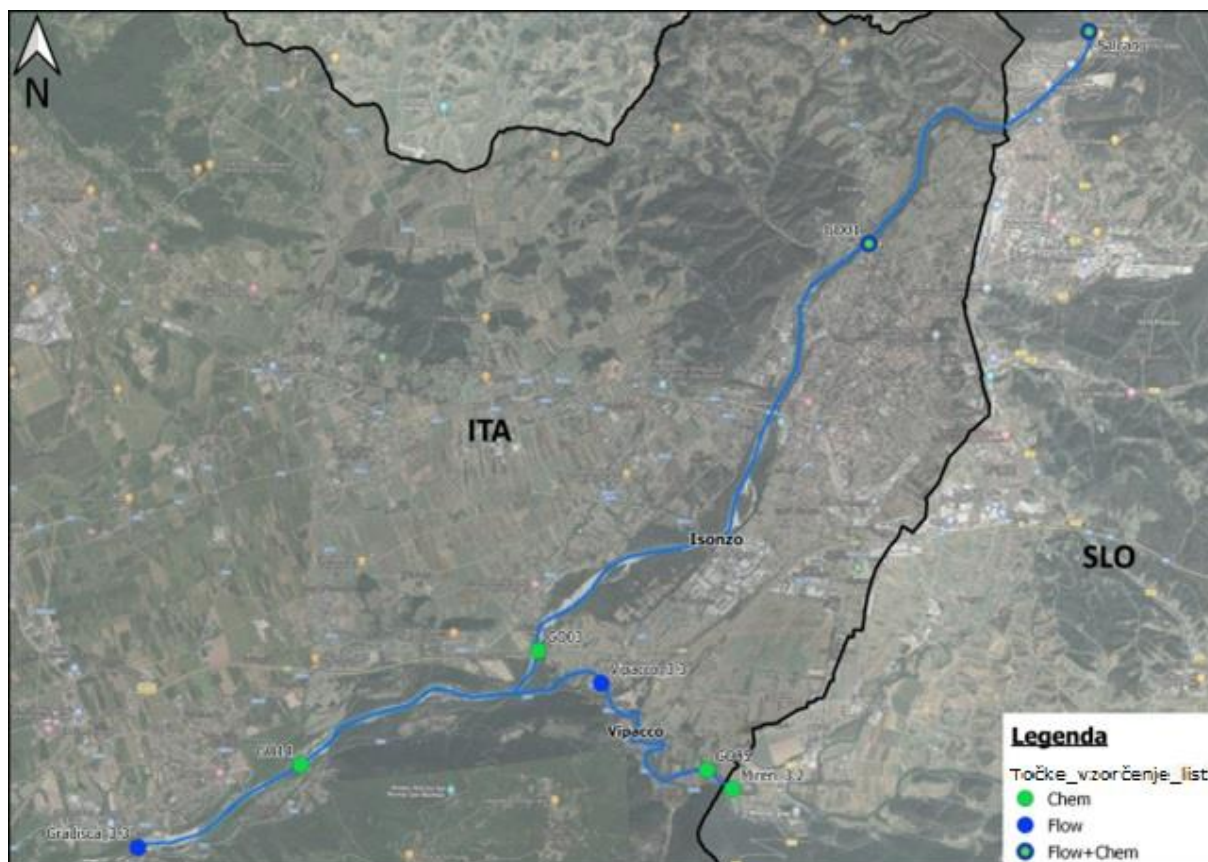
oceno sposobnosti samočiščenja. Ti podatki prihajajo iz nadzornih postaj hidrografske dežele službe Furlanije-Julijske krajine. Natančneje, uporabljeni sta postaji Gorica-vzpenjača z Mosta v Pevmi (GO01) in Gradišča ob Soči (3.3), ki sta nameščeni na skrajnem robu analiziranega odseka reke (slika 2). Ti postaji se nanašata na uradne postaje regije FVG - hidrografske službe.

Izbira za uporabo teh dveh točk je povezana z razpoložljivostjo potrjenih in neprekinjenih časovnih vrst skozi čas, ki omogočajo enostavno oceno parametrov odtoka. Postaja Solkan, ki se nahaja na skrajnem severu analiziranega odseka, je bila uporabljena za kvalitativne premisleke o sistemu, vendar ne omogoča natančnih hidroloških analiz, saj je s časovnega vidika zelo prekinjena (prisotnost velikih obdobj neaktivnosti). Podatki, ki so jih pridobile hidrometrične postaje, so hidrometričnih ravni in časovih serij pretoka, ki se nanašajo na leto 2020. Serija podatkov, ki jo je zagotovila regija FVG, se je razširila do leta 2018, vendar je vsebovala doslednje manjke v letih 2018 in 2019. Na podlagi teh vrzeli je bilo odločeno, da se serija zmanjša le na leto 2020, ki je predstavljala popolno kontinuiteto podatkov. Samo znižanje na leto 2020 ne vključuje velikih izgub informacij o procesih, ki so prisotni v analiziranem odseku reke, saj se prisotni antropogeni pritiski z leti ne spreminjajo. Njihovi učinki so torej vedno prisotni v hidrološkem režimu analiziranega odseka in omogočajo, da jih skozi čas štejemo za skoraj »stacionarne«.

Kar zadeva hidrokemične podatke, v analizi so uporabljeni podatki iz vzorčenja, ki jih je zagotovila ARPA FVG. Vzorčenja, ki so se izvajala mesečno od februarja do novembra (razen meseca marca in aprila zaradi omejitvenih ukrepov pandemije covid-19) (tabela 1), so omogočila pridobivanje informacij o glavnih onesnaževalcih vode reke Soče in Vipave, povezane s kmetijstvom: pesticidi in dušikove spojine. Da bi opredelili potencialne kmetijske onesnaževalce, katerih je potrebno simulirati v transportnem modelu ADR, je bilo preiskanih 108 pesticidov, pri čemer so ocenili njihovo pomembno prisotnost na podlagi preseganja mej, opredeljenih v D.L. 172/2015. Za vzorčenje se uporabljajo postaje, ki pripadajo mreži DQA last ARPA FVG in pripadajoče Sloveniji, ki jih upravlja ARSO (Agencija RS za varstvo okolja).

Tabela 1: Vzorčenje, ki jo je izvedla ARPA FVG ob reki Soči in Vipava v obdobju februar-november 2021. W.P.: navaja, v katerem delovnem paketu so bila vzorčenja opravljena. Izmerjene snovi so zaradi priročnosti združene v analitične pakete: CA - dušikove spojine; FT - fitosanitarni proizvodi (ustrezajo nepolarnim pesticidom); PPA - Anionski polarni pesticidi.

Datum vzorčenja			13/02/2020	21/05/2020	23/06/2020	16/07/2020	25/08/2020	16/09/2020	20/10/2020	24/11/2020
Reka	W.P.	kraj	Analitični paketi							
Soča	3.2	Solkanski Jez	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,PPA	PPA
	3.3	G001 Park v Pevmi		CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA
	3.2	G003 Sovodnje ob Soči	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,PPA	PPA
	3.3; 3.2	G014 Zdravščine	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA
Vipava	3.2	Vipava Miren	CA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,PPA	PPA
	3.3	G005 Most v Rupì		CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA	CA,FT,PPA



Slika 2 - Mreža za spremljanje hidrometričnih parametrov (modre točke) in hidrokemijskih parametrov (zelene točke). Simbol modre pike z zeleno piko označuje prisotnost obeh vrst parametrov.

2.6 Uporabljene metodologije

2.3.1 ARP-ove laboratorijske metodologije kemičnih analiz

Pesticidi

Analize pesticidov površinskih voda so bile izvedene s tehniko "Ultra Performance Liquid Chromatography- Tandem Mass Spectrometry" (UPLC / ESI / MS / MS; Lucentini in Patriarca 2019) in omogočajo določanje rezultatov v območju koncentracij med 0,01 - 0,5 µg/l.

Tehnika UPLC / ESI / MS / MS združuje ločitev velike količine spojin v visokozmogljivi tekočinski kromatografiji in kvalitativno-kvantitativno specifičnost tandemске tehnike MS odkritje vsake posamezne spojine po ionizaciji z elektrorazprševanjem (ESI). Vsaka spojina, ločena od kromatografske kolone, je prepoznana z zadrževalnim časom (Rt) in s spremljanjem vsaj dveh prehodov sorodnih spojin. Vzorec se vbrizga v kromatografski sistem brez kakršne koli predobdelave (neposredni vbrizg). Tehnika ionske kromatografije - masna spektrometrija visoke ločljivosti (IC-HRMS; Lucentini in Patriarca 2019) se uporablja za kisle herbicide v koncentracijskem območju med 0,01-0,5 µg/L (0,025-0,5 µg/L za AMPA).

Celonti dušik

Uradna metoda UNI 11658: 2016 za analizo celotnega dušika temelji na kivetnem testu. Določanje poteka po vroči oksidaciji v termoreaktorju s kalijevim persulfatom pri 170 °C 15 minut. Nitratni ioni nato reagirajo z 2,6 dimetilfenolom v kislem okolju (fosforno-žveplovo), da nastane obarvana spojina 4-nitro-2,6 dimetilfenol, ki jo spektrofotometer odčita neposredno v reakcijski kiveti. Metoda je uporabna v območju 1-40 mg N/L.

Nitrati

Načelo metode APAT IRSA CNR met 4020 man 29 2003. Določanje nitratov se izvaja z ionsko kromatografsko separacijo s specifično kolono velike zmogljivosti. Analiti se nato odkrijejo z detektorjem električne prevodnosti. Metoda je uporabna v območju 0,1 - 200 mg / L.

Nitriti in amoniak

Metoda vključuje določanje amonijakovega dušika (NH_4^+) in dušikovega dioksida (NO_2) s kolorimetrično analizo z uporabo diskretnega in avtomatiziranega analizatorja (ISO 15923-1: 2013). Za amonijakov dušik (NH_4^+) je območje uporabnosti 0,04 - 2 mg / l, za nitrite (NO_2) pa 0,01 - 1,0 mg / L.

2.3.2 Ocena samoočiščevalne sposobnosti Soče

Cilj analize je razumeti sposobnost samoočiščenja reke Soče povezane z različnimi hidrološkimi režimi, ki se pojavljajo med letom zaradi pojava vodnega vrha. S tem namenom je bila analiza razdeljena na dve fazi:

- C. Opredelitev parametrov hitrosti toka in hidrodinamične disperzije, ki se uporabljata kot vhodna parametra v transportni model.
- D. Uporaba analitične raztopine za modeliranje ADR transportnega procesa raztopljenega onesnaževalca.

V prvi fazi je bilo odločeno, da uporabimo analizo navzkrižne povezave med časovno vrsto pretoka v zgornji in spodnji postaji. Navzkrižne povezave, kot so opredeljene v literaturi (Jenkins in Watts 1968; Vanables in Ripley 2002), omogočajo preverjanje prisotnosti povezav med dvema časovnima vrstama pri različnih vrednostih časovnega zamika. V primeru primerjave med hidrogramoma navzgor in navzdol, prisotnost pomembne povezane vrednosti in ustrezni časovni zamik, pri katerem je zabeležena, omogoča identifikacijo časa, porabljenega v prehodu konice poplav med obema analiziranimi odsekoma. Zato je ob poznavanju prostorske razdalje med odsekoma mogoče z dobrim približkom pridobiti povprečni vodni vrh poplav. Ocenjevanje pretoka v sistemu je temeljnega pomena, saj je nujen parameter za izpeljavo hidrodinamične razpršenosti vodotoka in za reševanje analitične enačbe transporta ADR. Ker z analizo želimo ovrednotiti samočistilno zmogljivost pri različnih hidroloških režimih, je bil postopek za ocenjevanje pretokov uporabljen le za en mesec v letu, v katerem na vodni vrh ne vplivajo intenzivni meteorni dogodki. Prisotnost intenzivnih in dolgotrajnih meteornih dogodkov lahko povzroči nastanek poplav, ki prikrijejo učinke vodnega vrha. Ko so bile pridobljene stopnje pretoka, ki se nanašajo na pojav vodnega vrha (najmanjša in največja hitrost) in ocenili povezane stopnje pretoka, so bile uporabljene za oceno hidrodinamične disperzije. V literaturi obstaja več empiričnih enačb za oceno hidrodinamične razpršenosti površinskega vodotoka (Deng et al. 2001; Etemad-Shahidi in Taghipour 2012), od katerih se vsaka nanaša na specifične pretočne razmere (npr.: majhni gorski potoki, visoke ravnice tečaji itd.) Glede na

to, da se analizirani odsek nahaja v visoki furlanski nižini, je za oceno hidrodinamične disperzije izbrano razmerje, ki ga je leta 2009 predlagal Tayfur:

$$D_{idro} = 0.91Q + 9.94$$

To razmerje, pridobljeno z uporabo tehnike genetskega algoritma, povezuje vrednosti pretoka (Q) z vzdolžno hidrodinamično disperzijo (Didro), kar zagotavlja dober približek za vodotoke, kot je vodotok reke Soče, ki imajo hidrološki režim, značilen za visoke in srednje ravninske površine (Tayfur 2009).

Ko so vhodni parametri, potrebni za transportno modeliranje, ocenjeni, je mogoče preiti na drugo fazo analize. V drugi fazi se dejanska zmogljivost samočiščenja oceni z 1D modelom transporta ADR vzdolž analiziranega odseka reke. Izbira modela za uporabo je bila narejena na podlagi kakovosti razpoložljivih podatkov (razpoložljivost in stopnja podrobnosti) in enostavnosti uporabe. Izbran je bil analitični model, ki zahteva uporabo majhnega in lahko dostopnega števila podatkov. Poleg tega je njegova izvedba veliko lažja kot bolj zapleten numerični model. Analitični model temelji na uporabi ustrezne analitične rešitve diferencialne enačbe advektivno-disperzivno-reaktivnega transporta (Van Genuchten et al. 2011).

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - kC + \gamma$$

Z R faktorjem zamude zaradi adsorpcijskih procesov na trdni matriki (za površinske vode ga je mogoče približati 1), D hidrodinamična disperzija vzdolž smeri toka, v hitrost pretoka vode, k koeficient razgradnje snovi in γ stopnja proizvodnje snovi z drugimi procesi (izraz vir / ponor).

Izbira analitične rešitve je sorazmerna s transportnim problemom, ki ga je potrebno rešiti. V našem primeru je cilj, ki ga želimo doseči, vrednotenje zmogljivosti samočiščenja glede na variacije pretoka, ki jih povzroča pojav vodnega vrha. Proti tej smeri je bilo odločeno uporabiti analitično rešitev, ki jo je predlagali Hemond et al. 2014.

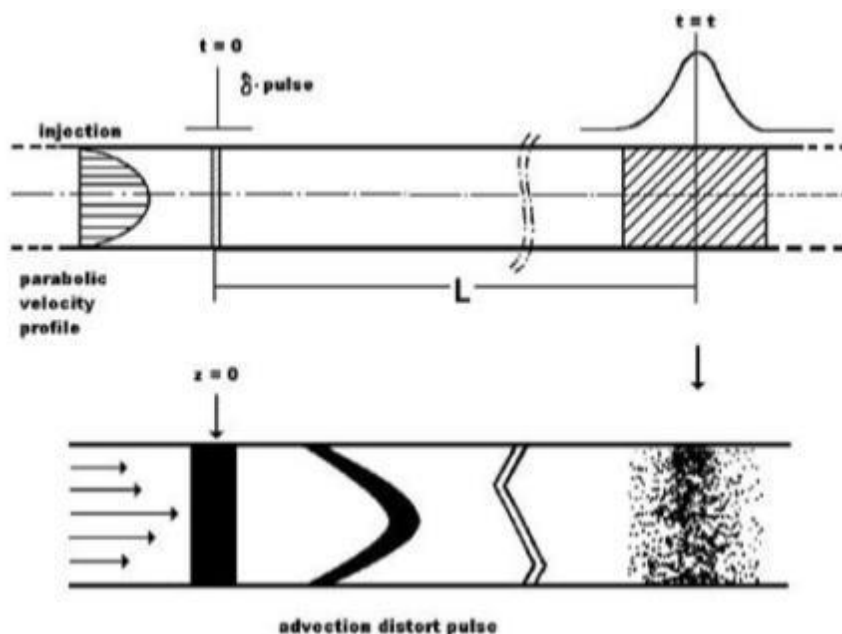
$$C(x, t) = \frac{Mi}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{(x-vt)^2}{4Dt}} e^{-kt}; Mi = m_i/Q$$

Kjer C (x, t) označuje koncentracijo (g/m³), izračunano na razdalji od vhodne točke x (m) v trenutku t (sek), mi predstavlja vhodno maso onesnaževalca (g), Q je pretok vodotoka (m³/s), v je pretok vode (m/s), D predstavlja vzdolžno

hidrodinamično disperzijo (m^2/s) in k koeficient razgradnje onesnaževalca v vodi ($1/\text{s}$).

Ta analitična rešitev omogoča enodimenzionalno simulacijo širjenja trenutnega vnosa (Dirakova delta) znane in konstantne mase kot funkcije hidrodinamičnih pogojev reke in procesov razgradnje, kateremu je podvržen vnešeni onesnaževalec (slika 3). Med različnimi analitičnimi rešitvami, ki jih običajno najdemo v literaturi, Hemondova omogoča primerjavo različnih prostorsko-časovnih evolucij koncentracije onesnaževalcev glede na različne hidrodinamične pogoje (različne stopnje pretoka). To je mogoče, ker enačba upošteva maso spojine kot vnos in ne njene koncentracije. Če bi uporabili raztopino, ki uporablja koncentracijo (konstanto) kot vhod, bi se masa spojine implicitno povečala pri vsaki variaciji pretoka vode, da bi ohranili konstantno vneseno koncentracijo. To bi povzročilo, da model širjenja ne bi bil primeren za ocenjevanje zmogljivosti samočiščenja pri različnih režimih pretoka, saj bi se upoštevale različne vhodne mase.

Izvedba analitičnega modela je bila izvedena v okolju R, ki omogoča večjo računsko fleksibilnost in lažje upravljanje izhodov.



Slika 3 - shematski prikaz advektivno-disperzivno-reaktivnega transporta (ADR) v impulzu (Dirakova delta - δ) onesnaževalec znan, konstantne mase.

8. Rezultati

3.4 Kemična vzorčenja ARPA FVG

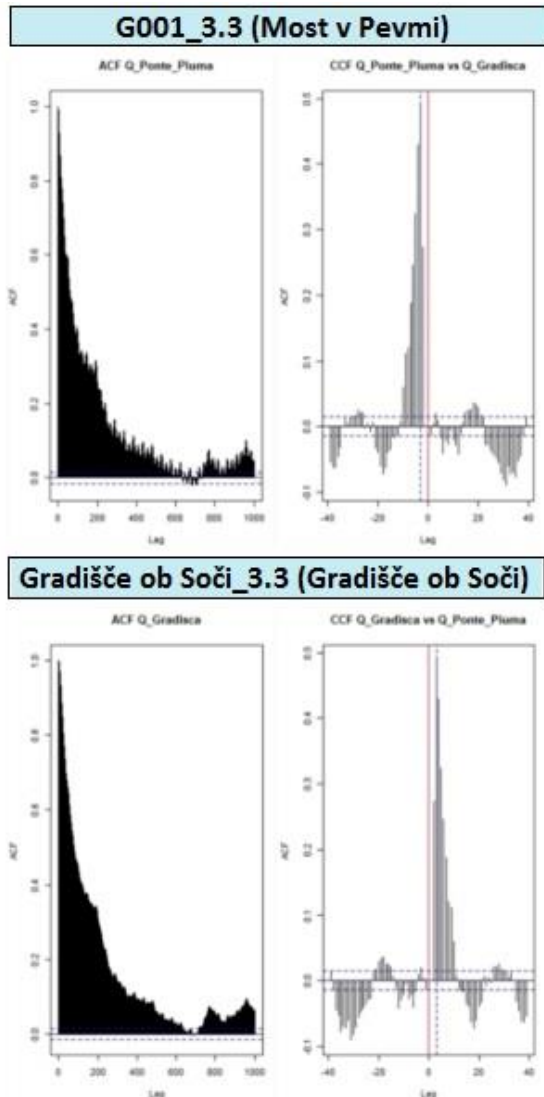
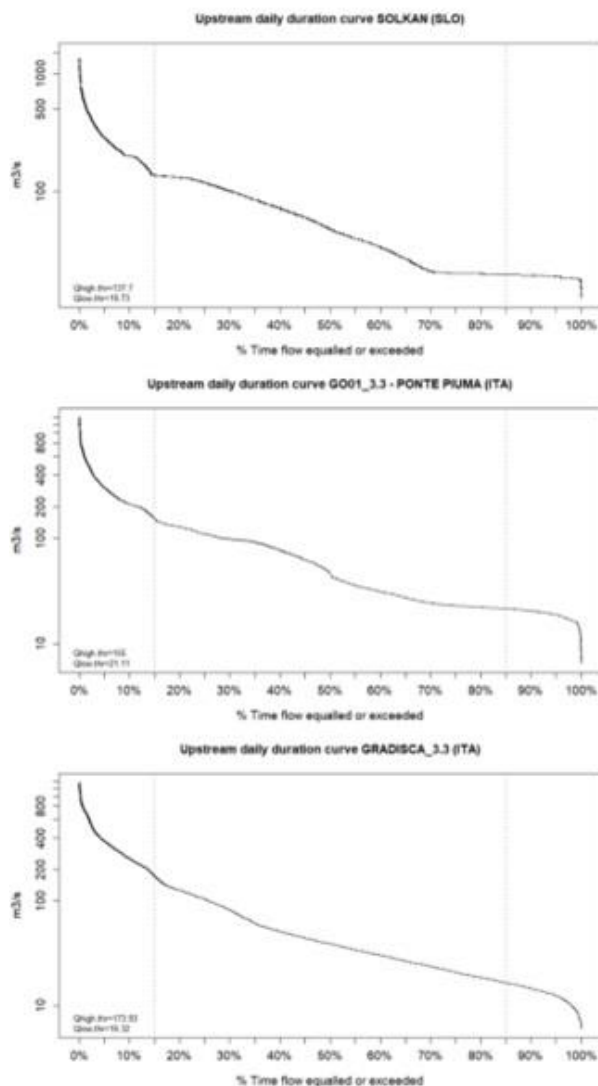
Na podlagi vzorčenja prisotnosti pesticidov na analiziranem odseku reke Soške ni prišlo do kritičnih izsledkov. Kot potrjujejo tudi zgodovinski podatki, pritiski, povezani s kmetijstvom med krajoma Solkan in Gradiščem ob Soči, niso posebej očitni. Na splošno so bile od analiziranih snovi odkrite le štiri (acetamiprid, fosetil-Al, glifosat in AMPA) (> LOQ) in nobena od njih ne presega zakonsko opredeljenih okoljskih standardov kakovosti (OSK). Bolj problematična se zdi realnost Vipave, za katero analize, opravljene na sosednjih postajah Miren (na slovenskem ozemlju) in G0005 (500 m nižje od prejšnje, v Italiji), potrjujejo znatno prisotnost (> EQS - as letno povprečje) aminometilfosfonske kisline (AMPA), razgradnega metabolita glifosata. Prisotni so tudi fungicidi dimetomorf, metalaksil, tebukonazol ter herbicida glifosat in DACT - atrazin. Kljub temu se zdi, da prispevek Vipave ne vpliva bistveno na kakovost vode reke Soče. Kar zadeva dušikove spojine, ni bilo ugotovljene posebne kritičnosti.

Tabela 2: pesticidi, najdeni na različnih opazovanih krajih v koncentracijah, višjih od relativne meje kvantifikacije ("LOQ") med 108 analiziranimi. Navedeno je naslednje: najvišja ugotovljena vrednost za vsak analit ("Max value detected") in relativni LOQ, število skupnih vzorcev, analiziranih za vsak analit ("št. vzorcev") in število vzorcev, kjer je bil analit dejansko zaznan ("št. Vzorcev > LOQ"). Zelena polja označujejo mesta, kjer je analit prisoten (> LOQ), vendar nižje od zakonske meje (SQA) glede na letno povprečje, medtem ko rumena polja označujejo mesta, kjer letno povprečje presega vrednost SQA.

Analit	Najvišja zaznana vrednost	LOQ	št. vzorcev.	št. vzorcev > LOQ	Merska entoa	Kraj					
						Solkanski jez	G001	G003	G014	Vipava-Miren	G005
Acetamiprid	0,01	0,01	36	1	µg/l						
AMPA	0,66	0,025	42	17	µg/l						
CACT	0,04	0,01	36	1	µg/l						
Dimetomorf	0,02	0,01	36	2	µg/l						
Fosetil aluminij	0,02	0,01	42	2	µg/l						
Glifosat	0,12	0,01	42	11	µg/l						
Metalaksil	0,03	0,01	36	4	µg/l						
Tebukonazol	0,02	0,01	36	2	µg/l						

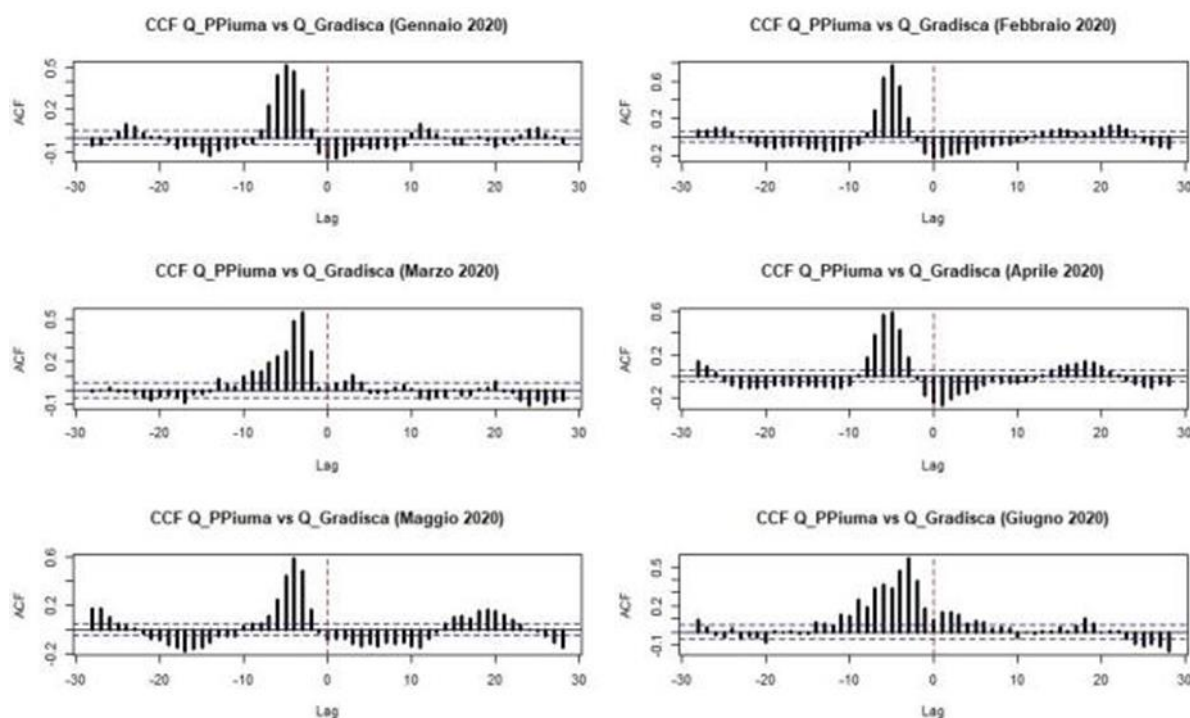
3.5 Hidrometrična analiza Soče

Analiza časovne vrste pretokov, pridobljene v letu 2020 na postajah za spremljanje G001_3.3 in Gradišče ob Soči_3.3, je še enkrat poudarila, kako je analizirani odsek reke Soče podvržen zelo antropiziranemu hidrološkemu režimu, skladno s prejšnjimi analizami (Regione FVG in AdB 2012). Krivulje trajanja pretoka (FDC) na sliki 4, prenovljeni tudi za slovensko postajo Solkan, prikazujejo nenadne spremembe naklona in široke ravninske razpone, ki poudarjajo kotalni učinek zaradi različnih ovir vzdolž analiziranega odseka. Ta regulacija je še posebej očitna pri prehodu z visokih pretokov (predvsem zaradi meteornih dogodkov) na vmesne pretoke in v končnem delu krivulje, ki ustreza osnovnim pretokom. Učinek regulacije pa je oslabljen s prehajanjem od zgornjega do spodnjega odseka še posebno med postajama G001_3.3 in Gradišče ob Soči_3.3. Zdi se, da FDC, ocenjen na hidrometrični postaji Gradišče ob Soči, dejansko pridobi obliko, zelo podobno naravnemu režimu, verjetno zaradi doprinosa potoka Versa, ki se izliva v bližini mesta Savogna. Prisotnost prodorne hidrološke regulacije je razvidna tudi z opazovanjem trendov samodejne korelacijske funkcije (ACF) na sliki 4. Tudi v tem primeru so jasno vidne nenadne spremembe naklona zaradi regulacije tokov z jezovi. Poleg tega nam analiza ACF omogoča opazovanje vedno prisotnega pojava vodnega vrha zaradi ciklov polnjenja in praznjenja rezervoarja hidroelektrarne Solkan. Z opazovanjem grafov ACF za postaji G001_3.3 in Gradišče ob Soči_3.3 (slika 4) lahko dejansko opazimo stalno in periodično prisotnost samokorelacijskih vrhov, ki prekrivajo splošni trend same funkcije. Po ugotovitvi razširjenosti vodnega vrha se je naša analiza osredotočila na identifikacijo hidrodinamičnih značilnosti, ki se nanašajo na obdobja, v katerih na režim pretoka vpliva le ta pojav.



Slika 4 - Analiza vodnega režima analiziranega odseka reke Soče. Levi del slike prikazuje FDC-je, zgrajene na iztokih na točkah spremljanja. Na desni strani pa so prikazani ACF in CCF za kraj vzorčenja G001_3.3 in Gradišče ob Soči_3.3.

Na podlagi gibanja dnevnih pretokov na postajah G001_3.3 in Gradišča ob Soči_3.3 so bili ugotovljeni meseci, v katerih atmosferski dogodki niso povzročili poplav, ki bi lahko prikrili periodični signal vodnega vrha; zato je bil ocenjen CCF glede na stopnje pretoka teh obdobj (slika 5).



Slika 5 - CCF ocenjen v mesecih, v katerih prevladuje pojav vodnega vrha, s primerjavo časovnih vrst tokov na G001_3.3 (zgornji odsek) in Gradišča_3.3 (nižji odsek). Črtkana rdeča črta označuje ničelni časovni zamik (povezava med nizi, ovrednotenimi v istem času).

Analiza CCF na sliki 5 je omogočila oceno povprečnega potovalnega časa poplavnega vala, ki ga povzroči odprtje jezov hidroelektrarne Solkan, torej oceno povprečnega pretoka v takšnih pogojih in ustrezne hidrodinamične disperzije. Poleg teh parametrov je bilo mogoče izračunati tudi tranzitni čas, ko se zaradi zapiranja zapornic vzpostavi minimalni pretok. Naslednjih vrednosti (tabela 1):

Tabela 1 - Ocenjeni parametri pretoka na podlagi analize časovnih vrst pretokov. Podatki se nanašajo samo na pretok, ki ga povzroči pojav vodnega vrha. High_Q_Hpeak opredeljuje največji pretok, ki na splošno nastane zaradi izpusta na jezu hidroelektrarne Solkan, medtem ko Low_Q_Hpeak opredeljuje najmanjši povprečni pretok, ki nastane zaradi zapiranja jezovih zapornic.

Vodni režim	Q (m ³ / s)	v (m / s)	D _x (m ² / s)	Opombe
High_Q_Hpeak	130	1,64	128,25	Odprtje Solkan
Low_Q_Hpeak	20	0,9	28,14	Zaprtje Solkan

Vrednosti hitrosti in hidrodinamične disperzije, ki se nanašajo na največjo in najmanjšo stopnjo izpusta, ki jih ustvarijo cikli polnjenja in praznjenja rezervoarja hidroelektrarne Solkan, so glavni vhodni parametri za transportni model, ki se uporablja za ocenjevanje zmogljivosti samočiščenja reke.

3.6 Transportni model zmogljivosti samočiščenja

Analitični transportni model je bil strukturiran z uporabo parametrov, izpeljanih iz hidrometrične analize, in dognanj vzorčenja, ki jih je izvedla ARPA FVG. Delo, ki ga je opravila ARPA FVG, je omogočilo oceniti, katere snovi so bile najbolj prisotne v sistemu, in določilo pilota za razvoj simulacij transporta. Snov, ki se preučuje, je fosetil-Al, ki se nahaja v koncentracijah, višjih od LOQ, na najbolj zgornjem analiziranem odseku reke Soče. Prisotnost te snovi omogoča simulacijo stanja resnične onesnaženosti zaradi kmetijskih procesov (t.j.: obdelavo s fungicidi) in modeliranje za celotno dolžino analiziranega odseka reke. Model je bil uporabljen za tri različne scenarije v tabeli 2, ki ponovno predlagajo tri različne režime toka, ki so prisotni v reki Soči.

Tabela 2 - Scenariji, uporabljeni za izdelavo modela samočiščenja z ustreznimi kriteriji pretoka.

Vodni režim	Q (m ³ / s)	v (m / s)	D _x (m ² / s)	Opombe
High_Q_Hpeak	130	1,64	128,25	Odprtje solkan
Low_Q_Hpeak	20	0,9	28,14	Zaprtje solkan
Optimal_Q_Hpeak	45	1,11	50,89	Kontinuiteta

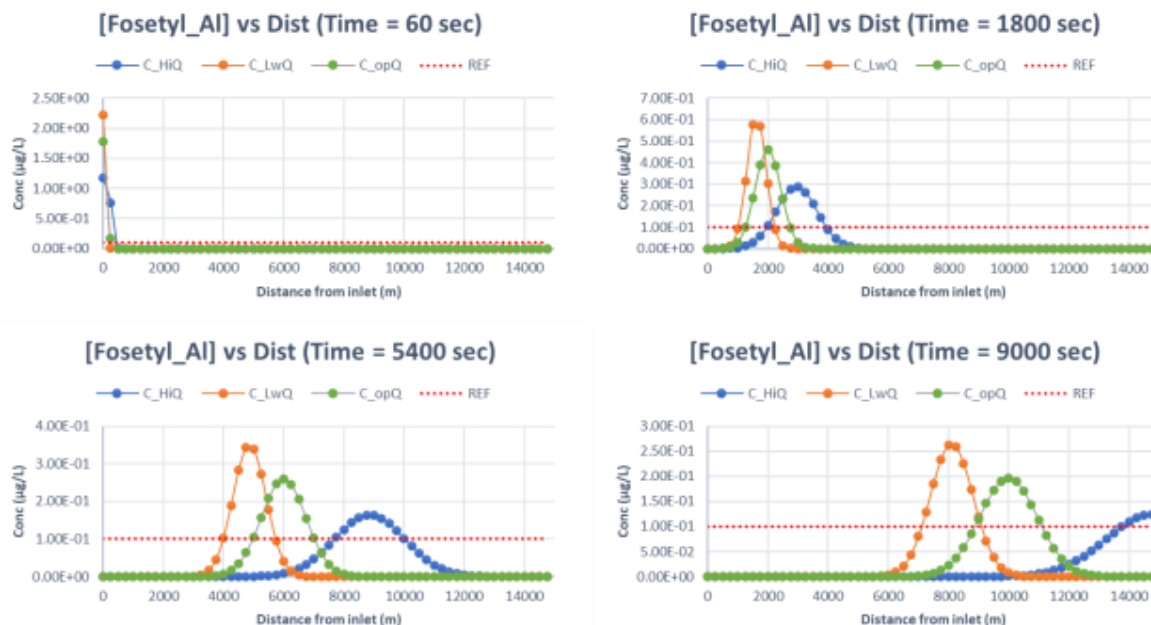
Prva dva scenarija predstavljata režime pretoka, opisane v prejšnjem odstavku za vodnega vrha; medtem ko tretji, imenovan Optimal_Q_FVG, predstavlja situacijo, v kateri se iz jezu na hidroelektrarni Solkan sprost minimalni odtok 45 m³/s. Ta scenarij je bil uveden za simulacijo zmogljivosti samočiščenja Soče, če se sprost minimalni pretok, potreben za zagotovitev kontinuitete reke v glavni strugi.

Vrednost je ocenila regija FVG, kot del projekta GREVISLIN, zato se je zdel edini možen scenarij tisti, ki je upošteval, kar je bilo izpeljano iz teh analiz.

Model vam omogoča, da ocenite variacijo koncentracije onesnaževalca v prostoru in času, kot funkcijo vodnega režima (pretoka), ki se pojavlja v vodotoku. V kontekstu, ki je podoben tistemu na preučevanem območju, sta komponenti prenosa in disperzije pomembnejši od reaktivnega, saj je razpolovna doba pesticida daljša od časa njegovega zadrževanja v sistemu. To pomeni, da je samočiščenje mogoče razlagati predvsem kot proces redčenja.

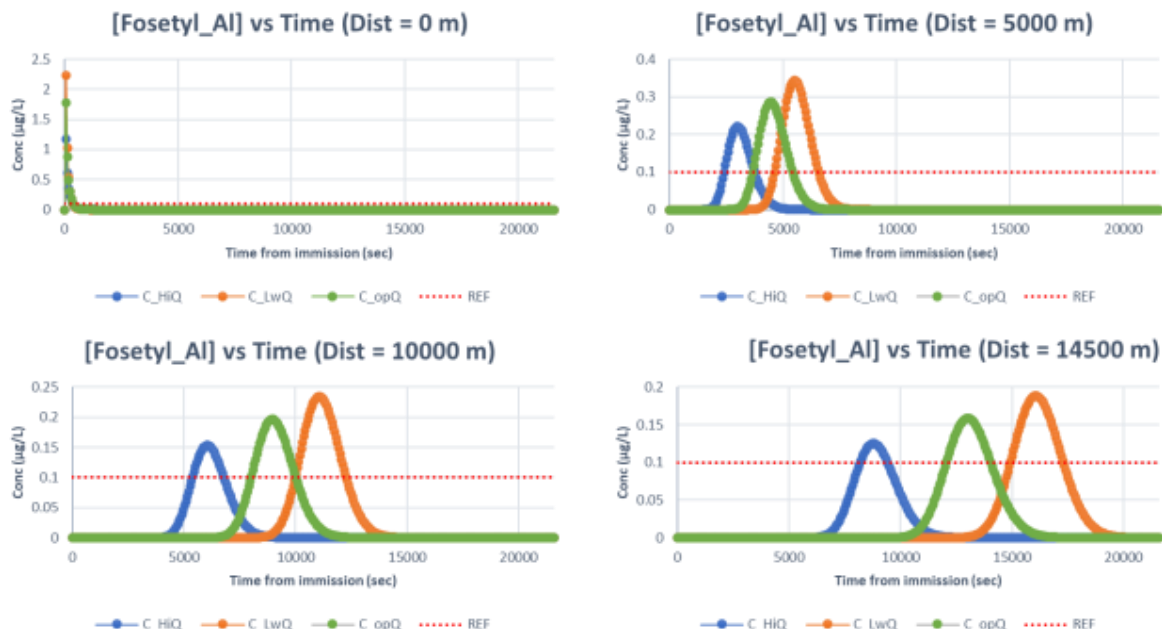
Model je bil postavljen tako, da simulira pravočasno in takojšnje vbrizganje konstantne mase Fosetyl-Al enake 10 g. Dobljeni rezultati so izvlečki prostorske ločljivosti 250 m (vzdolž smeri toka) in časovne ločljivosti 60 sek. Sliki 6 in 7 prikazujeta nekaj rezultatov modela, v odvisnosti od razdalje in časa.

Kot je razvidno iz slike 6 (koncentracije v primerjavi z razdaljo), ostajajo koncentracije Fosetyl-Al višje za nižje stopnje pretoka (oranžna krivulja) in zahtevajo daljše tranzitne čase v sistemu. To pomeni, da je snov dlje časa na voljo za bentoško komponento, kar povzroča možne negativne učinke na rečni ekosistem. Nasprotno pa večji pretok omogoča večje zmanjšanje koncentracij Fosetyl-Al in krajši čas zadrževanja, s čimer se zagotovi večja samočistilna zmogljivost reke same.



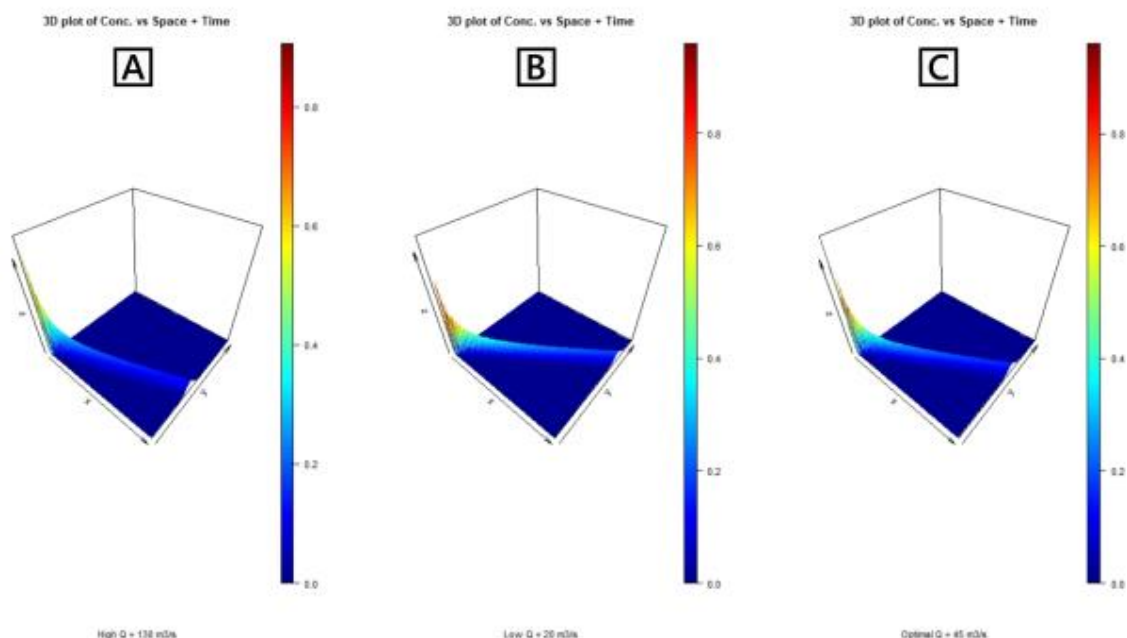
Slika 6 - Prostorski razvoj koncentracij Fosetyl-Al (masa, vnesena takoj), ovrednotenih v različnih časovnih točkah od trenutka vnosa (Čas = 0 s).

To vedenje potrjujejo rezultati, predstavljeni na sliki 7 (koncentracije v odvisnosti od časa). Tudi tukaj nižji pretok podaljšuje zadrževalne čase spojine, hkrati pa ne daje prednosti disperzivnemu pojavu zaradi znižanja koncentracij pod zakonsko mejo (črtkana rdeča črta). Zdi se, da bi bil najboljši pogoj tisti, ki se nanaša na izpust pretoka 130 m³/s, vendar bi imel znatne ekonomske posledice na proizvodnjo električne energije v hidroelektrarni Solkan. Zdi se, da je srednja vrednost pretoka, ki ga predlaga regija FVG (zelena krivulja), tista ki bi omogočila dobro samočistilno sposobnost in hkrati neprekinjenost reke ter zagotovila ekosistemske procese same reke.



Slika 7 - Časovni razvoj koncentracij Fosetyl-Al (masa, vnesena takoj), ovrednotenih na različnih prostorskih razdaljah od vstopne točke (Dist = 0 m = točka spremljanja G001_3.3).

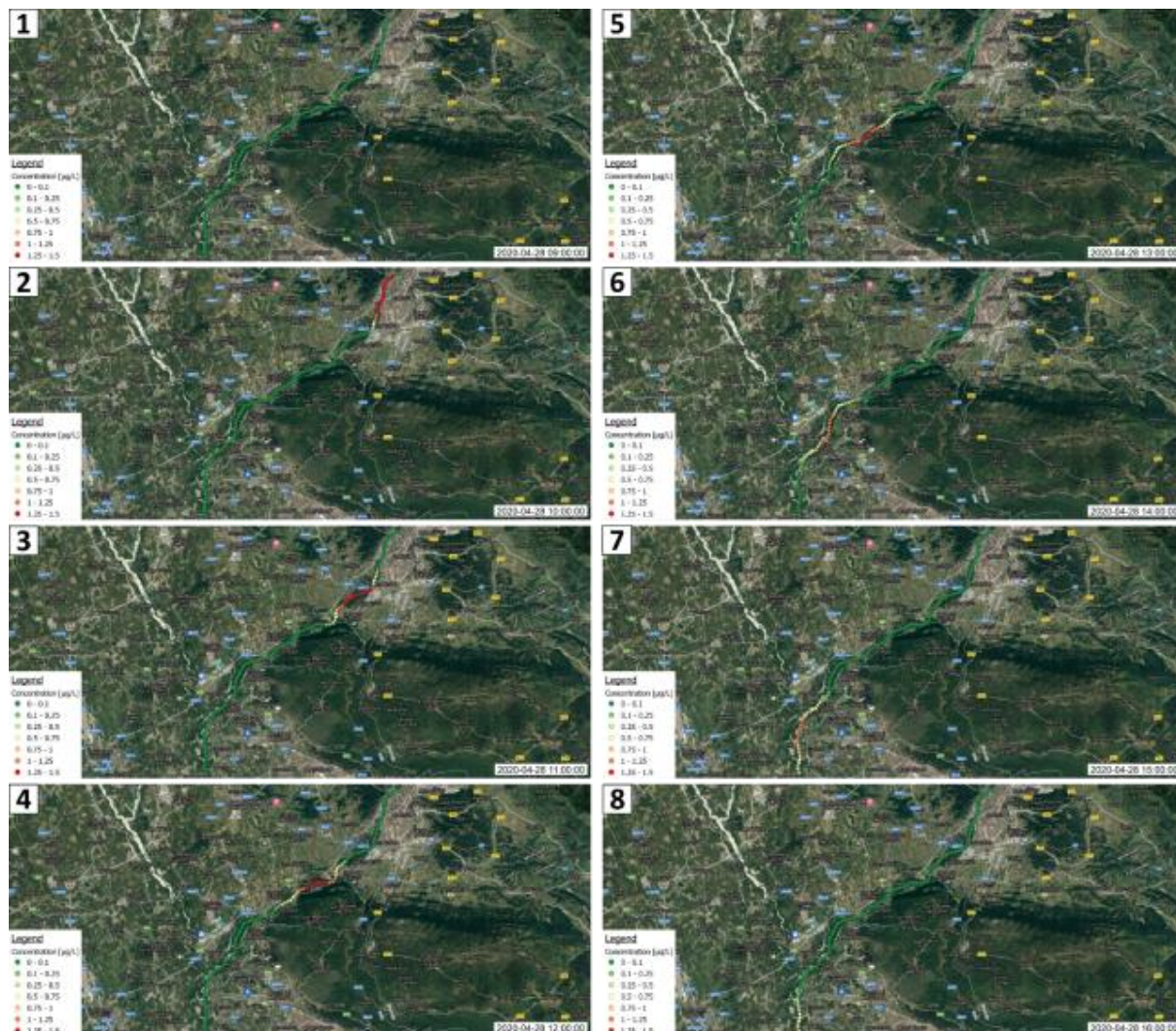
Z vrednotenjem rezultatov modela v 3D prostoru (Koncentracije v primerjavi s prostorsko-časovno ravnino), kot je prikazano na sliki 8, je mogoče bolje opazovati, kar je bilo že opisano v prejšnjih odstavkih. V tem 3D-pogledu sistema koncentracija-prostor-čas je takoj razvidno, kako rečni sistem povečuje svojo samočistilno sposobnost, ko se stopnja iztoka povečuje. Pravzaprav je ugotovljeno, da je pri pretoku 130 m³/s "hrbtenica" koncentracij veliko manj visoka in se v krajšem času oslabi (slika 8A); medtem ko je pri pretoku 20 m³/s precej bolj izrazit (slika 8B).



Slika 8 - 3D "prostor-čas-koncentracija" predstavitev razvoja krivulje samočiščenja Fosetyl-Al, kot funkcija scenarijev iztoka v sistemu, opisanem v tabeli 2.2.

V skladu z rezultati, pridobljenimi iz zgoraj opisanega modela trenutnega vbrizgavanja, smo se odločili, da uporabimo novo orodje ORGANICS za simulacijo vnosa Fosetyl-Al s končnim vnosom skozi čas (vnos traja 1 uro). Na ta način je bilo mogoče predstaviti dogodek onesnaženja, ki se lahko pojavi dnevno v rečnem sistemu (mestna drenaža ipd.). Na sliki 9 je prikazano zaporedje transporta onesnaževalca, ki se vnese v sistem v primeru, da je pretok enak 45 m³/s, oziroma pretok, ki se šteje za optimalen za zagotavljanje konstantnosti reke soče. Kar opazite je, da se v približno sedmih urah po uvedbi, masa vnesenega onesnaževalca razredči in se koncentracija v preučevanem delu znatno zmanjša.

Če opazujemo zaporedje plume-jev na sliki 8, lahko dejansko opazimo prepolovitev koncentracij v osrednjem območju onesnaženega plume-ja (od 1,5 µg/L na približno 0,75 µg/L). Ista simulacija je bila izvedena tudi za minimalne in maksimalne pretoke, opisane v prejšnjih odstavkih. Simulacija potrjuje dejstvo, da lahko večja količina vode, ki prehaja skozi strugo reke Soče, dejansko izboljša zmogljivost samočiščenja v primerjavi z vnosom onesnaževalca.



Slika 9 - Zemljevidi prostorsko-časovne evolucije fosetil-Al plume, ki nastane s stalnim, a omejenim časovnim vnosom (trajanje vnosa ene ure) znane mase onesnaževalca. Obdelava je bila izdelana z novim vtičnikom ORGANICS. Slika predstavlja evolucijo koncentracij v časovnih intervalih ene ure.

9. Zaključek

Analiza, opisana v prejšnjih odstavkih, je omogočila pridobitev koristnih informacij za optimizacijo upravljanja rečnega sistema reke Soče, tako s hidrološkega kot ekološkega vidika. Izsledke, lahko povzamemo takole.

Kemijska analiza, ki jo je opravila ARPA FVG glede kakovosti rečne vode, kaže na omejen vpliv zaradi točkovnih (mestnih/industrijskih izpustov) in razširjenih pritiskov (kmetijske pridelave), ki so prisotni na ozemlju. Analizirani odsek reke Soče ne kaže preokračitve nacionalnega SQA. Le nekatere od raziskanih pesticidov

je mogoče zaznati (> LOQ), kot je Fosetyl-Al. Reka Vipava ima višjo koncentracijo učinkovin (glifosat, dimetomorf itd.) iz kmetijskega sektorja slovenskega prostora. Vendar pa so te učinkovine v nižjem odseku ob sotočju s Sočo, navedene pod referenčnimi SQA, kar opisuje sprejemljivo stanje okolja. Čeprav ni bistvene kritičnosti, nam analiza še vedno daje koristne informacije za ohranjanje in izboljšanje stanja okolja.

Kar zadeva samoočiševalno sposobnost Soče, nam je analiza omogočila pridobiti veliko koristnih informacij, med katerimi je predvsem dejstvo, da jo uravnava predvsem pretok iztoka v vodotoku. Večji kot je pretok, učinkovitejši je proces samočiščenja zaradi dinamike advektivno-disperzivnega transporta. Za učinkovitejšo izpeljavo preusmeritev voda z vidika okoljske trajnosti se pridobljene informacije izkažejo za zelo koristne.

Kot smo že razpravljali v prejšnjih analizah, je največja kritičnost, prisotna v soškem sistemu, posledica pojava vodnega vrha. Razvito modeliranje (ADR) je omogočilo kvantitativno oceno negativnega učinka občasnih sprememb pretoka, ki se pojavljajo dnevno. Začetek teh neprekinjenih nihanj, zlasti dolgotrajne razmere nizkega pretoka, povzročijo znatno variacijo v zmogljivosti samočiščenja, za katero so značilni daljši časi zadrževanja onesnaževalca in zato njihova večja biološka uporabnost.

Z namenom varovanja in zaščite vodotoka in z njim ekološko povezanih sistemov (načelo WFD 2000/60/ES) razvito orodje in pridobljene informacije predstavljajo učinkovito pomoč pri izboljšanju načrtovanja in upravljanja sedanjega sistema za preusmeritev vode. Dobljeni rezultati kažejo na potrebo po povečanju in homogenizaciji pretokov v strugi, da se zagotovi učinkovitost samočistilnih procesov ter dobra kakovost vode in rečnega ekosistema. Ti premisleki so v skladu s analizo vodne kontinuitete reke Soče, ki jo je v okviru projekta razvila regija FVG v sodelovanju s podjetjem Terra s.r.l..

Izvedena analiza ne želi postati točka prihoda, temveč izhodišče za razvoj metodologij in protokolov upravljanja, ki so usmerjeni v izboljšanje praks upravljanja rečnega okolja in s tem povezanih zelenih infrastruktur glede na interakcijo z bistvenimi na ozemlju prisotnimi antropskimi dejavnostmi.

10. Viri

- ❖ 79/409/CEE (1979). Council Directive 79/409/EEC of 2 April 1979 on the conservation of wild birds. Official Journal L 103 , 25/04/1979 P. 0001 - 0018.
- ❖ 92/43/CEE (1992). Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L 206 , 22/07/1992 P. 0007 - 0050.
- ❖ APAT IRSA CNR (2003). Metodi analitici per le acque - Vol.2 sezione 4020. APAT, Rapporti 29/2003. ISBN: 88-448-0083-7.
- ❖ Deng, Z. Q., Singh, V. P., & Bengtsson, L. (2001). Longitudinal dispersion coefficient in straight rivers. Journal of hydraulic engineering, 127(11), 919-927.
- ❖ Etemad-Shahidi, A., & Taghipour, M. (2012). Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams using M5' model tree. Journal of hydraulic engineering, 138(6), 542-554.
- ❖ Hemond, H. F., & Fechner, E. J. (2014). Chemical fate and transport in the environment. Elsevier.
- ❖ ISO 15923-1:2013 (2013). Water quality - Determination of selected parameters by discrete analysis systems – Part 1: Ammonium, nitrate, nitrite, chloride, orthophosphate, sulfate and silicate with photometric detection.
- ❖ Jenkins, G. M., and D. G. Watts (1968). Spectral Analyses and Its Applications. 525 pp., Holden-Day, San Francisco, California.
- ❖ Lucentini L, Patriarca M per la Sottocommissione del Comitato permanente di Studio sulle Acque del Ministero della Salute (ex art. 9 DM 26 marzo 1991) (Ed.). Metodi analitici per il controllo delle acque da destinare e destinate al consumo umano ai sensi del DL.vo 31/2001 e s.m.i. Metodi chimici. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2019. (Rapporti ISTISAN 19/7).
- ❖ Regione FVG and AdB (2012). Laboratorio Isonzo: Percorso partecipato per individuare proposte condivise sulla gestione transfrontaliera delle portate del fiume Isonzo in relazione agli impegni assunti dall'Italia negli Accordi di Osimo. Documento conclusivo, maggio 2012, www.laboratorioidonzo.it.
- ❖ Tayfur, G. (2009). GA-optimized model predicts dispersion coefficient in natural channels. Hydrol. Res., 40(1), 65-75.

- ❖ UNI 11658:2016 (2016). Qualità dell'acqua - Determinazione dell'Azoto Totale in acque di scarico, naturali e destinate al consumo umano mediante test in cuvetta. ICS: 13.060.01.
- ❖ van Genuchten, M. T., Leij, F. J., Skaggs, T. H., Toride, N., Bradford, S. A., & Pontedeiro, E. M. (2013). Exact analytical solutions for contaminant transport in rivers 1. The equilibrium advection-dispersion equation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 61(2), 146-160.
- ❖ Venables, W. N. and Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer-Verlag.
- ❖ WFD 2000/60/EC (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal L 327* , 22/12/2000 P. 0001 - 0073.