

TITOLO: Proposta di gestione multi-obiettivo del reticolo dei canali di pianura per valorizzare i servizi ecosistemici: il caso del Consorzio di Bonifica del Navarolo

CANDIDATO: Valeria Paternieri

RELATORI: Prof. Michele Donati, Prof. Pierluigi Viaroli

CORRELATORI: Dott. Daniele Longhi, Dott.ssa Elisa Soana

DIPARTIMENTO: Bioscienze, Università degli Studi di Parma

Le pratiche agro-zootecniche intensive che caratterizzano il territorio della Pianura Padana hanno trasformato profondamente il paesaggio a scapito della qualità dell'ambiente naturale. Significativo a questo riguardo è il progressivo arricchimento di azoto nitrico nelle acque superficiali e di falda, che ha implicazioni negative per la salute umana (Camargo & Alonso, 2006), animale e per lo stato trofico delle acque (Viaroli et al., 2001; Rabalais et al., 2002; Daoji et al., 2004).

In questo contesto viene spesso trascurato il ruolo del complesso sistema dei canali artificiali e naturali di piccole e medie dimensioni con finalità principalmente irrigue e di scolo delle acque in eccesso, la cui estensione lineare complessiva nelle quattro principali regioni del bacino del Po (Lombardia, Emilia Romagna, Piemonte e Veneto) ammonta a circa 60000 km per le sole zone di pianura ed è quindi superiore per ordini di grandezza a quella dei principali corsi d'acqua del bacino del Po. L'importanza di questo sistema è riconosciuta anche dalla letteratura scientifica più recente, che lo identifica come il target principale per efficaci azioni di recupero e miglioramento ambientale, proprio per le caratteristiche peculiari che lo contraddistinguono (Castaldelli et al., 2008; Longhi et al., 2011; Pierobon et al., 2013):

- la distribuzione capillare sull'intero territorio padano, che fa sì esso rappresenti il principale recettore dei carichi inquinanti provenienti da fonti sia diffuse che puntiformi;
- il fatto che esso rappresenta il principale elemento di connessione tra gli ambienti terrestri e il reticolo idrografico principale;
- gli elevati volumi d'acqua che vengono trasportati soprattutto durante il periodo irriguo estivo;
- la presenza della vegetazione acquatica e di sponda.

In particolare la presenza e l'abbondanza della vegetazione sono ritenuti tra i fattori più importanti nel determinare le potenzialità del reticolo secondario di controllare gli eccessi di azoto che caratterizzano i bacini idrografici in contesti ad elevato impatto antropico. Infatti, le piante che crescono sulle sponde e nell'alveo dei canali sono in grado di assimilare attivamente dalla colonna d'acqua i nutrienti e agiscono da filtro controllando la frazione particellata sospesa, ma anche di rallentare la velocità dell'acqua e quindi di aumentare i tempi di residenza dell'acqua e di contatto con il sedimento dove numerosi processi metabolici mediati da batteri favoriscono la metabolizzazione dei carichi di nutrienti. Le macrofite radicate, inoltre, grazie alla capacità di trasporto e di rilascio dell'ossigeno verso il comparto bentonico, possono favorire l'instaurarsi di micronicchie ossiche in sedimenti che risulterebbero altrimenti completamente anossici, stimolando così l'accoppiamento di processi batterici ossidativi e riducenti (nitrificazione-denitrificazione) che favoriscono la rimozione dell'azoto (Racchetti et al., 2010; Soana et al., 2015).

All'importanza del reticolo idrografico secondario si contrappone però lo scarso numero di studi che si sono fino ad ora occupati di stimare il valore economico associato alle funzioni ecosistemiche da esso svolte, quale la capacità di controllo dei carichi inquinanti. Mentre infatti numerose ricerche riportano in termini quantitativi i risultati della valutazione economica dei servizi ecosistemici di interi bacini idrografici (Boerema et al., 2014; Rankinen et al., 2014), vere e proprie valutazioni economiche dei servizi ecosistemici forniti dal reticolo idrografico secondario non sono ancora state svolte. Recentemente, uno studio condotto da Dollinger et al. (2015) ha messo in evidenza come le normali operazioni di manutenzione dei canali, quali dragaggio, sfalcio, diserbo chimico e pirodiserbo, possono avere effetti su vari processi tra cui il deflusso delle acque, la sedimentazione, l'uptake delle piante, etc e quindi sui servizi ecosistemici forniti dai canali. Tale studio non ha tuttavia quantificato l'importanza dei processi a cui fa riferimento, né tanto meno il valore monetario ad essi associato. Questa carenza di informazioni si riflette inevitabilmente sulla gestione della rete dei canali, che è quasi esclusivamente finalizzata a garantire la capacità di trasporto dell'acqua a fini irrigui e la protezione dal rischio idraulico. Gli aspetti ambientali, relativi alla qualità delle acque e dell'ecosistema nel suo complesso sono invece considerati in modo marginale. Quantificare in termini economici i servizi ecosistemici forniti dal reticolo idrografico secondario è quindi il primo passo da compiere affinché quest'ultimo possa essere preso in considerazione nella gestione e nel miglioramento della qualità del territorio.

L'obiettivo generale di questo lavoro di tesi è formulare una proposta di gestione del reticolo idrografico secondario di pianura, finalizzata a massimizzarne i servizi ecosistemici da esso forniti e, in particolare, il servizio di controllo dell'inquinamento da azoto. L'area di studio considerata è quella gestita dal Consorzio di Bonifica Navarolo (47.654 ha). Situata tra le provincie di Cremona e Mantova, quest'area è stata scelta perché presenta un

reticolo idrografico ben sviluppato (1284 km, dato calcolato sulla base di shape-files forniti dal Consorzio) e ha caratteristiche rappresentative del bacino padano, sia in termini di uso del suolo che di pressioni antropiche prevalenti. Il lavoro di tesi è suddiviso in tre principali attività:

- 1) un'analisi territoriale finalizzata alla stima dei carichi di azoto generati ed esportati nel suolo coltivato;
- 2) la stima della capacità attuale del reticolo idrografico di abbattere i carichi di azoto e la valutazione del valore economico associato a questo servizio ecosistemico.
- 3) l'implementazione di un'Analisi Costi Benefici (ACB) di scenari alternativi di gestione della vegetazione e dei sedimenti, per l'identificazione della migliore alternativa possibile.

La prima attività del lavoro di tesi è consistita nella stima del bilancio di massa dell'azoto nell'area gestita dal Consorzio, utilizzando l'approccio del Soil System Budget (SSB, Oenema et al., 2003), ovvero il calcolo del bilancio dell'azoto tramite conversione di dati statistici (ISTAT 2010, <http://dati-censimentoagricoltura.istat.it>) di pressioni antropiche in equivalenti di azoto, attraverso coefficienti agronomici. L'area di studio è stata assimilata ad un bacino idrografico i cui confini sono rappresentati dai limiti amministrativi del Consorzio stesso: tale assunzione è resa possibile grazie alle caratteristiche del reticolo idrografico del Consorzio che si contraddistingue per avere dei punti di immissione e di scarico delle acque ben definiti, coincidenti rispettivamente con gli impianti di derivazione (input di acqua) e con gli impianti idrovori (output di acqua). Il metodo SSB si basa sul calcolo dei carichi azotati apportati (reflui zootecnici, fertilizzanti azotati sintetici, fissazione biologica, deposizione atmosferica) e persi (rimozione azotata da parte delle colture, volatilizzazione dell'ammoniaca, denitrificazione nel suolo) rispetto alla superficie agricola utilizzata (SAU). In seguito al calcolo della differenza tra input ed output azotati è possibile individuare la presenza di un deficit o di un surplus azotato nel territorio. Il risultato di questa attività mostra che sul territorio del Consorzio l'input di azoto supera le perdite con un surplus annuo quantificabile in circa 1.600 t N.

La capacità del reticolo idrografico secondario del Consorzio di abbattere i carichi di azoto nella gestione attuale è stata stimata moltiplicando la lunghezza del reticolo idrografico, distinguendo tra tratti vegetati e non vegetati e tra alveo e sponde, per tassi di abbattimento di azoto specifici dell'alveo e delle sponde, in funzione della presenza/assenza di vegetazione acquatica e ripariale. I tassi sono stati ricavati dalla bibliografia (considerando dei valori minimi e massimi) e in particolare da uno studio condotto in ambienti con caratteristiche simili a quello considerato (Pierobon et al., 2013). Mentre la lunghezza dei tratti con diverse caratteristiche è stata ricavata da indicazioni fornite dal Consorzio considerando le attuali pratiche di gestione. Il risultato di questa seconda attività mostra che, allo stato attuale, il reticolo è in grado di abbattere in media 36 tonnellate di azoto all'anno (range 20-52 t N anno⁻¹, in funzione dei tassi di abbattimento minimi e massimi utilizzati) e che tale valore è da attribuire prevalentemente alla capacità di abbattimento dell'alveo, mentre solo in parte a quella delle sponde (Figura 1). L'analisi mostra anche che l'attuale gestione limita fortemente la presenza di vegetazione in alveo.

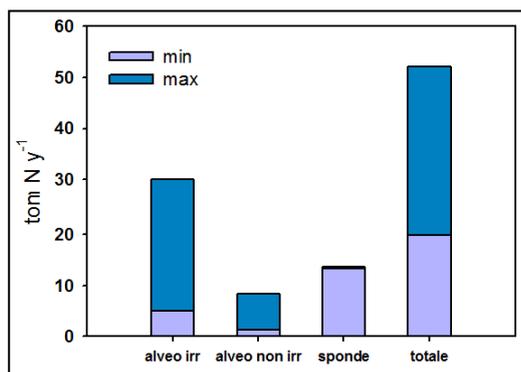


Figura 1. Abbattimento teorico di azoto nello nel reticolo secondario del Consorzio di Bonifica Navarolo nello Scenario attuale di gestione (Scenario 1); i valori minimi e massimo derivano dai valori minimi e massimi dei tassi di abbattimento utilizzati per il calcolo.

Il beneficio economico associato al servizio di rimozione dell'azoto è stato invece stimato adottando la tecnica del costo di sostituzione, ossia considerando i costi necessari per ottenere lo stesso tipo di servizio con soluzioni impiantistiche tecnologiche, in questo caso una *Free Water Surface constructed wetland*. Il risultato mostra che il valore corrispondente all'azoto abbattuto da ogni km lineare del retico è di circa 2000 € l'anno, che corrisponde a circa 40000 € considerando un valore attualizzato su un orizzonte temporale di 20 anni (Figura 2).

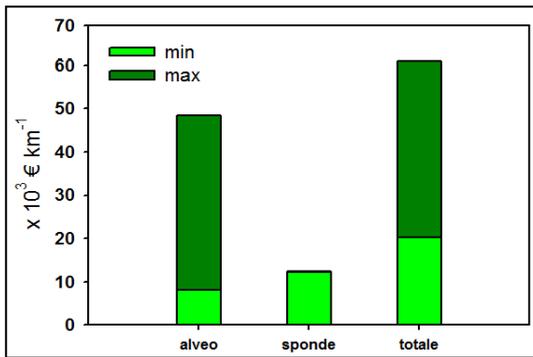


Figura 2. Valore economico associato all'abbattimento dell'azoto nel reticolo del Consorzio di Bonifica Navarolo nello scenario di gestione attuale (Scenario 1); i valori minimi e massimo derivano dai valori minimi e massimi dei tassi di abbattimento utilizzati per il calcolo.

Tali valori non tengono però in considerazione i costi di gestione che il Consorzio deve sostenere per il mantenimento dello stato dei canali. Questi sono stati quindi dedotti dalle voci di bilancio del Consorzio e sottratti al beneficio per definire il Valore Attuale Netto (VAN), ovvero il beneficio netto ottenuto dalla differenza tra tutti i benefici e tutti i costi di gestione del reticolo attualizzati. Il risultato mostra un VAN medio positivo e pari a circa 24000 €/km di canale, corrispondente ad un beneficio netto annuo di 1750 €/km (Figura 3). Quindi, rispetto al servizio ecosistemico di rimozione dell'azoto, la gestione attuale è da considerarsi efficiente sotto il profilo economico. Tuttavia, il confronto tra la capacità del reticolo di rimuovere azoto (36 ton anno⁻¹) e il surplus generato all'interno del territorio del Consorzio (1600 ton anno⁻¹) evidenzia che, anche considerando il valore massimo di abbattimento stimato per lo Scenario attuale (Scenario 1), questo corrisponde a poco più del 3% del surplus del territorio. Di conseguenza, nonostante il VAN della gestione attuale sia positivo, con questo scenario non è possibile considerare la rete di bonifica come uno strumento utile al contenimento dei carichi.

Con la terza attività sono stati quindi definiti tre scenari di gestione del reticolo del Consorzio alternativi a quello attuale e formulati allo scopo di individuare lo scenario di gestione migliore:

- Scenario 2: questo scenario differisce dallo Scenario 1 per una gestione più conservativa della vegetazione delle sponde: su indicazioni fornite direttamente dal Consorzio sono stati considerati tratti di canali per i quali è possibile non attuare interventi di sfalcio nel corso dell'anno irriguo o attuarli con una minore frequenza rispetto a quella attuale.
- Scenario 3: questo scenario può essere considerato come "riferimento" in quanto ideato allo scopo di simulare l'abbattimento di azoto massimo che il reticolo potrebbe raggiungere se vi fosse presenza costante, ossia durante l'intero periodo dell'anno, sia della vegetazione in alveo che di sponda. Questo scenario si basa sull'ipotesi che costruendo trappole di sedimentazione ne risulterebbe una minore torbidità delle acque in grado di favorire lo sviluppo e la crescita di macrofite radicate in alveo.
- Scenario 4: questo scenario prevede la costruzione di trappole di sedimentazione per il controllo del trasporto solido, il mantenimento della trasparenza delle acque e la realizzazione di un canale di corrente all'interno dell'alveo a seguito dello sfalcio di 1/3 della vegetazione presente in esso per garantire la funzionalità idraulica; mentre per le sponde prevede lo stesso tipo di gestione dello Scenario 2.

Considerando quindi i diversi costi di gestione e i diversi benefici (rimozione di azoto) associati ai diversi scenari, è stato possibile applicare l'ACB per identificare la migliore alternativa di gestione, ossia quella in grado di determinare non solo una maggiore capacità di abbattimento dei carichi di azoto, ma anche valori di VAN maggiori di quello attuale. Lo scenario che si caratterizza per il VAN maggiore è lo Scenario 3, pari a un valore medio di 400000 €/km. Esso prevede la presenza costante e diffusa della vegetazione in alveo e una gestione della vegetazione delle sponde più conservativa rispetto a quella dello Scenario attuale. Questo scenario, tuttavia, non può essere considerato uno scenario realistico, in quanto la presenza della vegetazione in alveo si contrappone con le principali esigenze di gestione del Consorzio che, come già indicato in precedenza, sono di garantire la capacità di trasporto dell'acqua e contenere il rischio idraulico. Un'alternativa di gestione realistica, quindi, deve necessariamente prevedere anche degli interventi di rimozione della vegetazione in alveo. Da questo punto di vista, lo Scenario 4 rappresenta quindi la soluzione alla quale fare riferimento per massimizzare il valore del servizio ecosistemico di rimozione dell'azoto. Questo scenario si contraddistingue per avere un VAN significativamente superiore (250000 €/km) a quello dello Scenario attuale (contrariamente al caso dello Scenario 2) (Figura 3) e di poco inferiore a quello dello Scenario 3, oltre che per tassi di abbattimento simili a quelli che si avrebbero se la vegetazione in alveo fosse mantenuta costantemente.

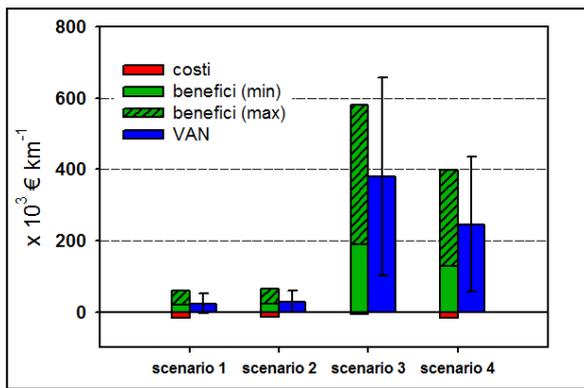


Figura 3. Risultati dell'analisi costi benefici per i quattro scenari considerati. I valori riportati si riferiscono ai totali attualizzati; i valori minimi e massimo derivano dai valori minimi e massimi dei tassi di abbattimento utilizzati per il calcolo.

Con lo Scenario 4, inoltre, l'abbattimento medio dell'azoto stimato per il reticolo secondario ($294 \text{ t N anno}^{-1}$) è confrontabile come ordine di grandezza con quello del surplus generato sul territorio (Figura 4). In particolare, considerando il range di abbattimento dovuto all'utilizzo di tassi di rimozione minimi e massimi, tale abbattimento corrisponde al 10-30% del surplus.

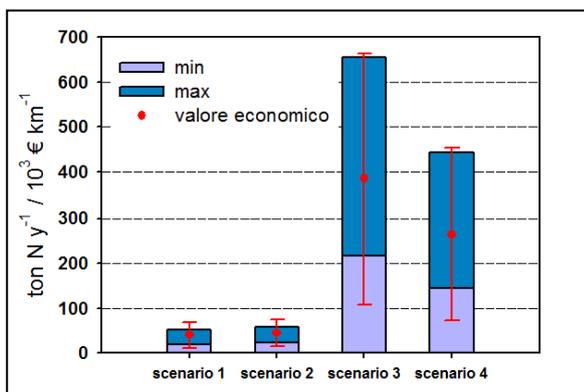


Figura 4. Confronto tra i valori di abbattimento teorico di azoto e valore economico ad esso associato per i quattro scenari di gestione considerati; i valori minimi e massimo derivano dai valori minimi e massimi dei tassi di abbattimento utilizzati per il calcolo.

La presenza di vegetazione in alveo in particolare appare quindi come il fattore discriminante che determina se il reticolo di canali può o non può essere considerato quale strumento per il controllo degli eccessi di azoto sul territorio. L'ipotesi che sta alla base dello Scenario 4 è che, attraverso la realizzazione di trappole di sedimentazione, sia possibile ridurre la torbidità delle acque e quindi venga favorito l'insediamento e la crescita di vegetazione radicata in alveo. La realizzazione di trappole di sedimentazione costituisce inoltre una alternativa alla gestione del problema dell'interramento dei canali, attualmente controllato mediante interventi di espurgo sull'intera asta. Mediante la realizzazione e gestione di trappole, al contrario, gli interventi di rimozione dei sedimenti sarebbero localizzati e di conseguenza meno impattanti rispetto agli espurghi tradizionali.

Anche dal punto di vista dei costi l'attuazione dello Scenario 4 non determina particolari variazioni rispetto a quelli della gestione attuale (Figura 3). Lo Scenario 4 prevede infatti la realizzazione e la gestione delle trappole di sedimentazione e di un canale di corrente in alveo, ma minori interventi di diserbo delle sponde e nessuno di espurgo, con una differenza che, in termini monetari, non supera il 3% del costo attuale.

In conclusione quindi l'attuazione delle alternative di gestione previste dallo Scenario 4 determinerebbe:

- un aumento significativo della capacità del reticolo di canali di abbattere i carichi di azoto, tale da rendere il reticolo stesso in grado di contrastare, almeno in parte, il surplus generato sul territorio;
- un aumento significativo del VAN, corrispondente al massimo beneficio netto per la società, contemporaneamente al mantenimento delle priorità di gestione del Consorzio (approvvigionamento idrico, sicurezza idraulica, ect.);
- un incremento trascurabile dei costi di gestione, parallelamente a metodiche di intervento meno impattanti dal punto di vista ambientale.

L'approccio impiegato in questo lavoro di tesi presenta tuttavia dei limiti, che vanno tenuti necessariamente in considerazione nella valutazione dei risultati ottenuti. Innanzitutto va sottolineato che la stima dell'abbattimento di azoto per i vari scenari è stata effettuata sulla base di tassi di abbattimento ottenuti da fonti bibliografiche e che quindi si possono discostare da quelli specifici dell'area di studio considerata, attualmente non noti. I tassi utilizzati per il calcolo sono comunque relativi a sistemi con caratteristiche simili a quelle dell'area di studio e

derivanti da indagini di campo condotte in territorio padano (Pierobon et al., 2013). Secondariamente, la valutazione economica del servizio ecosistemico considerato è stata svolta ipotizzando l'equivalenza monetaria tra benefici relativi all'abbattimento dell'azoto del reticolo secondario e i costi di realizzazione e gestione di una *Free Water Surface constructed wetland* (FWS) in grado di rimuovere la stessa quantità di azoto. E' da evidenziare che una valutazione di questo tipo è condizionata da vari fattori, quali: i tassi di rimozione effettivi, il fattore di scala, i costi applicati. Poiché le FWS sono di recente applicazione nella realtà italiana (Masi, 2003), i dati a disposizione sono scarsi e/o sono riferiti a specifiche condizioni locali. In mancanza di dati sui tassi di rimozione areali specifici, si è scelto di utilizzare un tasso di abbattimento areale medio che fosse compatibile con le condizioni meteo-climatiche della regione bioclimatica considerata (Vymazal, 2007). I costi necessari per la costruzione e la gestione della FWS sono stati ottenuti mediante parere esperto da parte di gestori di impianti di fitodepurazione analoghi a quella ipotizzata. Il costo di costruzione della FWS non comprende quello di acquisto del terreno, per cui il valore attribuito alla rimozione dell'azoto può soffrire di una certa sottostima. Tuttavia, l'ipotesi di economie di scala costanti (i costi di costruzione della FWS incrementano linearmente all'incremento della quantità di azoto rimosso) e l'assenza del costo (opportunità) per l'acquisto della superficie occupata dai canali limitano la possibile sottostima.

Va inoltre ricordato che, non esistendo una metodologia universalmente condivisa per la valutazione economica dei servizi ecosistemici, i valori di VAN ottenuti in questo studio vanno considerati con cautela e, soprattutto, con valenza limitata al contesto e all'obiettivo dell'indagine. D'altro lato è corretto anche tenere in considerazione il fatto che nella valutazione del servizio ecosistemico è stato scelto di trascurare il valore d'opzione, ovvero il valore economico attribuito dalla società per conservare l'integrità del servizio ecosistemico per un utilizzo futuro (per la generazione presente e quella futura). Ciò che viene valutato in questo lavoro è esclusivamente il valore d'uso attuale del servizio ecosistemico relativo alla rimozione dell'azoto svolto dai canali di bonifica. Di conseguenza, il reale valore in termini economici di questi ambienti è probabilmente maggiore di quello messo in evidenza in questo studio, che tra l'altro non ha considerato gli altri servizi ecosistemici che il reticolo secondario di pianura può fornire (es. habitat, biodiversità, approvvigionamento, valore culturale-ricreativo, contenimento del rischio idraulico).

In conclusione, i risultati consentono di affermare che il valore economico del servizio di controllo reso dai canali del sistema di bonifica dipende strettamente dallo stato ecologico e dall'integrità dell'ecosistema acquatico. Il funzionamento e la funzionalità della rete di canali sono dunque fattori fondamentali in questo tipo di valutazione. In altre parole, canali in buono stato ecologico presentano processi di abbattimento ai quali è associata un'elevata funzionalità, ovvero un'elevata capacità di rimuovere l'azoto in modo permanente (Racchetti et al., 2010; Castaldelli et al., 2015). Questa considerazione giustifica la scelta di valutare il servizio ecosistemico dal lato della funzione ecosistemica che lo genera (la quantità di azoto rimossa) piuttosto che per i benefici che da esso derivano (la qualità dell'acqua destinata ad usi vari).

I canali che presentano un buono stato ecologico possono offrire però una molteplicità di servizi ecosistemici che vanno dall'approvvigionamento idrico, alla produttività ittica, alla percezione estetica e all'uso ricreativo. Si può quindi affermare che il sistema idrografico secondario, se ben gestito, potrebbe avere un valore significativamente superiore a quello stimato per la sola funzione di rimozione dell'azoto. Confrontando i risultati di tutti e quattro gli scenari appare evidente che pratiche alternative di gestione della sola vegetazione di sponda non siano sufficienti a determinare variazioni significative rispetto alla capacità attuale di abbattimento dell'azoto, mentre pratiche gestionali in grado di favorire la presenza di vegetazione in alveo determinerebbero un incremento significativo della potenzialità di abbattere i carichi azotati. Una gestione più conservativa della vegetazione dell'alveo, ad esempio mediante la realizzazione di un canale di corrente sinuoso e la realizzazione di trappole per sedimenti, permetterebbe di incrementare il flusso del servizio ecosistemico rispetto alla gestione attuale e di conseguenza il beneficio sociale netto, contestualmente ad una variazione non significativa dei costi di gestione sostenuti dal Consorzio.

L'adozione di pratiche di gestione alternative da parte del Consorzio potrebbe in definitiva migliorare sensibilmente la capacità di abbattimento del reticolo idrografico e valorizzare il servizio ecosistemico fornito da questo sistema, determinando un aumento del beneficio netto per la società. Inoltre, l'inserimento di questo beneficio netto all'interno del bilancio (di sostenibilità) del Consorzio potrebbe rappresentare uno strumento utile per favorire ulteriori pratiche finalizzate a massimizzare la capacità depurativa del reticolo idrografico e più in generale di fornire servizi ecosistemici.