

## TELERILEVAMENTO E *CITIZEN SCIENCE*: BINOMIO POSSIBILE PER IL MONITORAGGIO DEL BOSCO RIPARIO

[Bruna Gumiero](#)<sup>1,2,3</sup>, Marco Cossu<sup>4</sup>, Francesco Di Grazia<sup>2,5</sup>, Alessandra Casali<sup>3</sup>, Cristian Di Stefano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Università di Bologna, <sup>2</sup>Osservatorio di Citizen Science, <sup>3</sup>ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, <sup>4</sup>Università di Parma, <sup>5</sup>Università di Siena

**Abstract:** L'espansione delle attività agricole a ridosso dei margini dei fiumi, lo sviluppo edilizio in aree golenali e ripariali e gli interventi di gestione delle sponde orientati ad eliminare i boschi lungo i corsi idrici comportano un aumento dei fenomeni erosivi con conseguente destabilizzazione delle sponde, compromissione delle funzioni ecologiche ed impatti sulle acque superficiali. Il monitoraggio delle qualità dei boschi ripari viene effettuato tramite approcci di remote sensing mentre i rilievi a terra sono piuttosto carenti. RiVe è una nuova metodica per il monitoraggio della qualità del bosco ripario attraverso la raccolta sistematica di dati distintivi e vuole essere uno strumento per la *Citizen Science* da integrare ad altri metodi di monitoraggio della zona riparia su vasta scala che si basano su rilievi di telerilevamento. Sviluppata nel 2020 è ora nella fase di validazione finale per l'ambiente italiano mentre è in corso l'adattamento e la calibrazione per una applicazione di RiVe anche in altri paesi europei.

**Parole chiave:** scienza con i cittadini, corridoi fluviali, vegetazione riparia, telerilevamento.

## REMOTE SENSING AND CITIZEN SCIENCE: POSSIBLE COMBINATION FOR MONITORING THE RIPARIAN FOREST

[Bruna Gumiero](#)<sup>1,2,3</sup>, Marco Cossu<sup>4</sup>, Francesco Di Grazia<sup>2,5</sup>, Alessandra Casali<sup>3</sup>, Cristian Di Stefano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Bologna, <sup>2</sup>Observatory of Citizen Science, <sup>3</sup>ISPRA - Italian Institute for Environmental Protection and Research, <sup>4</sup>University of Parma, <sup>5</sup>University of Siena

**Abstract:** *Agricultural expansion and urban development in floodplains and riparian areas, as well as riverbank management measures aimed at removing forests along watercourses, result in increased riverbank erosion, reduced ecological functions and impacts on surface waters. The quality of riparian forests is mainly monitored using remote sensing approaches, while ground-based surveys are rather lacking. RiVe is a new method for monitoring the quality of riparian forests through the systematic collection of representative data and is intended to be a Citizen Science tool integrated with other large-scale riparian zone monitoring methods, based on remote sensing surveys. Developed in 2020, RiVe is now in its final validation phase for the Italian environment, while adaptation and calibration for the applicability of RiVe in other European countries are underway.*

**Key words:** *citizen science, river corridors, riparian vegetation, remote sensing.*

## INTRODUZIONE

L'ecotono ripario, o corridoio fluviale, svolge un ruolo fondamentale nella dinamica degli ecosistemi fluviali. Questi corridoi ecologici, oltre a rappresentare una transizione fluida tra ambienti acquatici e terrestri, contribuiscono anche a creare un intricato "mosaico di habitat" all'interno degli ecosistemi fluviali. La diversificazione di ambienti è evidente nella varietà di condizioni idrologiche, di tessitura del suolo, dei processi di erosione e sedimentazione, offrendo così una vasta gamma di nicchie ecologiche per molte specie ([Dufour et al., 2019](#)). Quindi, se lasciate alle loro dinamiche naturali queste fasce di territorio sono in grado di supportare una elevata biodiversità aumentando così la resilienza dell'ecosistema nei confronti delle variazioni ambientali ([Capon et al., 2013](#)). Le funzioni e i benefici ecologici, idrogeomorfologici e sociali forniti dalla zona riparia, quando è in condizioni di elevata naturalità, sono ben noti (ad esempio [Steiger et al., 2005](#); [Corenblit et al., 2007](#); [Osterkamp e Hupp 2010](#); [Gurnell et al., 2012](#); [Gumiero et al., 2013](#), [Gumiero et al., 2015](#)). Tali funzioni sono direttamente correlate ai servizi ecosistemici che queste fasce di territorio danno alla società. Sono servizi gratuiti e cruciali, come la fornitura di habitat, il cibo per gli organismi di acqua dolce, la stabilizzazione delle sponde, la regolazione della temperatura e dell'ossigeno dell'acqua, la regolazione delle inondazioni e ricarica delle falde e altri ancora. In particolare, si vuole porre l'attenzione sulla funzione di filtro/tampone e di corridoio ecologico. Le zone riparie, o fasce tampone, se ben vegetate, migliorano la qualità delle acque dolci attraverso processi chimici, fisici e biologici a partire dalla deposizione di sedimenti ed

abbattimento delle sostanze inquinanti ad essi legate, come il fosforo e alcuni agrofarmaci, poco solubili in acqua, attraverso processi di adsorbimento e degradazione. Rimuovono efficacemente anche le molecole disciolte in acqua come nitrati e molte altre molecole solubili, provenienti dal dilavamento dei suoli agricoli e in minor misura da quelli urbani. Uno dei principali processi biologici in grado di rimuovere efficacemente l'azoto nitrico ( $\text{NO}_3^-$ ) riducendolo ad azoto atmosferico ( $\text{N}_2$ ) è la denitrificazione, che avviene nei suoli saturi e ricchi di carbonio organico. La vegetazione riparia, in questo processo batterico, ha un ruolo indiretto ma fondamentale nel fornire cibo (carbonio organico) alla comunità batterica dei denitrificanti. Anche l'assorbimento assimilativo da parte delle piante e dei microrganismi contribuisce alla rimozione, anche se temporanea, dell'azoto e del fosforo inorganici ([Gumiero et al., 2013](#); [Gran et al., 2015](#); [Boz e Gumiero, 2016](#); [Gumiero e Boz, 2017](#); [Gurnell et al., 2016](#); [Groh et al., 2020](#)). I corridoi fluviali forniscono una connessione naturale tra diversi habitat acquatici e terrestri. Questa connessione è essenziale per consentire agli organismi di spostarsi da un habitat all'altro per cercare cibo, riprodursi o fuggire alla competizione. Essi supportano una vasta gamma di specie a cui forniscono opportunità per la loro dispersione e colonizzazione di nuovi habitat. Questa connessione diviene vitale in ambienti altamente antropizzati e frammentati come le nostre pianure ([Litteral e Shochat, 2017](#); [Schnitzler et al., 2007](#)). La [Strategia dell'UE sulla Biodiversità per il 2030](#) sottolinea l'importanza di conservare o riqualificare corridoi ecologici e, di conseguenza, la gestione e il monitoraggio di questi corridoi

sono fondamentali per raggiungere gli obiettivi di conservazione.

Nonostante la loro importanza, gli alberi ripari vengono spesso tagliati dalle autorità locali per ridurre i rischi di inondazioni, senza considerare il loro ruolo fondamentale nello stoccaggio e nella mitigazione delle inondazioni ([Zaimes, 2020](#)). Questo problema è aggravato dal desiderio del cittadino di mantenere le sponde dei fiumi “pulite”, evidenziando un’erronea percezione della vegetazione riparia. Preservare o riqualificare l’ecotono ripario contribuisce non solo alla salute degli ecosistemi locali ma anche alla sostenibilità dell’intero paesaggio fluviale e del suo bacino imbrifero ([Tockner et al., 1999](#)). Inoltre, la Direttiva Quadro sulle Acque ([WFD 2000/60/CE](#)), non include la vegetazione riparia nella valutazione dello “stato ecologico dei fiumi” sebbene la sua dinamica sia fortemente correlata con la geomorfologia fluviale e gli habitat fluviali ([Corenblit et al., 2007](#); [Dufour et al., 2015](#); [González del Tánago et al., 2021](#); [Gumiero et al., 2015](#)); di conseguenza non ne conosciamo nemmeno lo stato di salute. Per promuovere la gestione sostenibile degli ecosistemi fluviali e migliorare lo stato ecologico dei fiumi, è essenziale la collaborazione tra le diverse parti interessate, inclusi politici, istituzioni e comunità ([Urbanič et al., 2022](#)). La *Citizen Science* è emersa come un potente catalizzatore di interazioni positive tra le parti interessate, svolgendo un ruolo fondamentale nelle pratiche di mitigazione e gestione ambientale ([McKinley et al., 2017](#)). A causa dei riconosciuti e molteplici vantaggi, i progetti di *Citizen Science* vengono fortemente sostenuti sia nei progetti Europei che nella legislazione ([Robinson et al., 2018](#); [Shanley et al., 2019](#), [EU Citizen Science, 2021](#)).

Sebbene siano state sviluppate diverse iniziative su larga scala per monitorare la qualità dell’acqua, l’idrologia, la geomorfologia e la biodiversità ([Brintrup et al., 2019](#); [Chandler et al., 2017](#); [Loiselle et al., 2016](#); [Turner e Richter, 2011](#)), attualmente non esiste alcun progetto di *Citizen Science* specificamente dedicato al bosco ripario. Questa mancanza rappresenta un’opportunità di sfida per migliorare la consapevolezza della società e contribuire a pratiche di gestione sostenibile ([Shuker et al., 2017](#)). Il coinvolgimento dei volontari può rafforzare la connessione tra le comunità locali e gli ecosistemi fluviali, aumentare la copertura spaziale e temporale e fornire risultati semiquantitativi per valutare i cambiamenti del sistema ripario ([Shanley et al., 2019](#); [Turbé et al., 2019](#)). La convalida e la standardizzazione dei metodi scientifici nei progetti di *Citizen Science* sono essenziali per garantire l’accuratezza, la credibilità e la comparabilità dei dati ([Fraisl et al., 2022](#)). Queste pratiche ne massimizzano il potenziale per contribuire in modo significativo alla ricerca scientifica, alla conservazione ambientale e al processo decisionale. Inoltre, coinvolgere i cittadini in ogni fase del processo (approccio di co-progettazione) consente agli esperti di integrare le conoscenze scientifiche con le informazioni su scala locale, compresi gli eventi storici ([Magalhães et al., 2022](#)). Allo stesso modo, i cittadini possono acquisire consapevolezza del valore scientifico delle attività a cui partecipano. In questo contesto si inserisce il progetto *RiVe* che ha l’obiettivo di: i) introdurre una nuova metodologia per il monitoraggio qualitativo della vegetazione riparia, progettata principalmente per attività di *Citizen Science* (Gumiero et al., submitted);

ii) presentare un indice basato sui risultati di RiVe per valutare a scala locale lo stato qualitativo dei boschi ripari; iii) Integrare RiVe nella metodologia QBR-GIS di telerilevamento per il monitoraggio a scala regionale ([Segura-Méndez et al., 2023](#)). Come primo test e dimostrazione dell'utilizzo dei due metodi e della loro integrazione vengono presentati i principali risultati rilevati lungo il torrente Idice nei territori di San Lazzaro di Savena e Castenaso in provincia di Bologna tra il 2021 e il 2023.

## MATERIALI E METODI

### La metodologia RiVe e l'APP ODK Collect (RiVe)

Il progetto RiVe è stato sviluppato dall'Università di Bologna e dall'Osservatorio di *Citizen Science* con la collaborazione del Network Nazionale della Biodiversità – ISPRA, per l'implementazione informatica, ed è finalizzato al monitoraggio qualitativo del bosco ripario. La metodica RiVe è nata nel 2020 ed è attualmente nella fase di validazione finale per l'ambiente italiano e nella fase di adattamento e calibrazione per essere utilizzabile anche in altri paesi europei. RiVe nei progetti di *Citizen Science* si articola in tre fasi consequenziali: formazione, raccolta dati e analisi dei dati.

- Fase 1) Formazione/training. La prima fase del protocollo RiVe riguarda l'educazione e la formazione dei cittadini volontari. In questa fase i cittadini vengono a conoscenza del ruolo chiave della vegetazione riparia nell'ecosistema fluviale contrastando in questo modo i molti pregiudizi nati da errate convinzioni o quantomeno conoscenze parziali dell'ecosistema fluviale. Comprendere l'importanza di questi ambienti aiuta i

volontari non solo a svolgere le attività di monitoraggio ma anche a sviluppare, nel lungo periodo, una maggior consapevolezza e comportamenti più sostenibili. In questa fase viene spiegato in dettaglio come compilare le schede e a riconoscere le 12 specie target legnose considerate nella metodica riducendo la possibilità di errori. Le specie target vengono scelte in base alla loro valenza ecologica e alla loro capacità di rappresentare le condizioni idrologiche e di disturbo dell'area (igrofile, mesofile e invasive). Infine, gli incontri formativi permettono ai partecipanti di conoscersi creando un'interazione tra esperti e cittadini, e quando possibile, sviluppare un processo di co-creazione nella stesura del disegno sperimentale.

- Fase 2) Raccolta dati. Per poter definire un progetto di *Citizen Science* è fondamentale che questa fase venga svolta in autonomia dai volontari. Sul campo, i volontari delimitano un'area di campionamento di dimensioni raccomandate (circa 10x15 metri) e quindi compilano la scheda di monitoraggio. Le modalità di raccolta dati possono essere tre: i) utilizzo di una scheda cartacea e successiva registrazione dei dati nel sito web; ii) utilizzo della scheda del sito web dedicato; in questo caso è necessario avere una buona connessione; iii) utilizzo dell'APP ODK del progetto Rive, per smartphone, che dà la possibilità di rilevare i dati senza una connessione e di scaricarli automaticamente in un secondo momento. L'APP ODK è un'applicazione *open-source* avanzata e intuitiva progettata per semplificare la raccolta e la gestione di dati sul campo mediante dispositivi mobili. Permette una raccolta dati facile e

sistematica e una partecipazione di volontari ampia e diversificata che possono fornire così un valido contributo ai progetti di ricerca. I dati raccolti vengono inviati direttamente nella infrastruttura del Network Nazionale della Biodiversità dove il responsabile di ogni singolo progetto di *Citizen Science* può controllarli e validarli. Successivamente i dati e le informazioni raccolte vengono rese disponibili al pubblico.

- Fase 3) Analisi dei dati. La terza fase del protocollo RiVe è dedicata all'analisi dei dati raccolti. Questa fase si concentra sull'elaborazione e sull'interpretazione dei dati ottenuti. L'utilizzo di statistiche descrittive permette di riassumere i dati raccolti, fornendo una visione generale della copertura delle specie target, nonché della loro distribuzione lungo il corso d'acqua. Al fine di rappresentare in modo sintetico i dati raccolti è stato sviluppato l'Indice RiVe.

### L'Indice RiVe

Questo indice può essere calcolato sia per una singola area di campionamento (circa 10x15 m) sia per un tratto fluviale, che tipicamente varia da 500 m a 1 km di lunghezza. Esso è composto di sei indicatori che vengono sommati tra loro per fornire una valutazione complessiva: 1) naturalità della sezione fluviale; 2) stima dell'altezza della vegetazione; 3) presenza di alberi morti; 4) struttura del bosco ripario; 5) percentuale di invasività nello strato superiore ai 3 m; 6) percentuale di invasività nello strato tra 1 e 3 m (strato rigenerativo). A ciascuno viene dato un valore massimo di 20 punti, che rappresenta le condizioni attese di naturalità. Questo indice se considerato nel suo dettaglio

offre una panoramica degli aspetti critici che definiscono la salute degli ecosistemi ripari, mentre il valore finale (0-120) indica la qualità complessiva del tratto campionato. I due sub-indici di invasività, riferiti allo strato >3 m e allo strato tra 1-3 m, sono considerati la componente caratterizzante del metodo e spesso vengono utilizzati singolarmente (sub-indice di invasività). La percentuale di invasività viene calcolata facendo la proporzione della copertura media delle specie invasive rispetto alla copertura totale del rilievo, basandosi sulla composizione della copertura di 12 specie target. Per la copertura delle specie target nelle aree di studio vengono considerate cinque classi che rispecchiano quelle di Braun-Blanquet (1932) con piccole modifiche (leggera modifica degli intervalli di copertura). Questo rilievo ci permette, oltre che analizzare la composizione della vegetazione riparia, di rilevare la predominanza delle specie di ciascun gruppo ecologico. In conclusione, l'Indice RiVe si presenta come uno strumento prezioso per quantificare l'integrità ecologica della vegetazione riparia raggruppando il valore finale dei sei sub-indici secondo cinque classi di qualità. In questo modo l'applicazione dell'Indice RiVe permette di identificare aree con elevata criticità che necessitano di interventi di riqualificazione e progetti di conservazione per le aree ad elevata qualità.

### Il metodo QBR-GIS

Il QBR-GIS è un nuovo adattamento proposto da Segura-Méndez et al., nel 2023 che si è sviluppato sul precedente metodo QBR ([Munné et al., 2003](#)). Nel QBR-GIS la raccolta dei dati si basa su tecniche di *machine learning*, dati ad alta risoluzione da *remote*

sensing (LIDAR) e software GIS v.3.16 (Goetz et al., 2003; Murray et al., 2018). Le finalità sono di ottenere le informazioni necessarie per determinare quattro indicatori e sei sub-indicatori: 1) copertura vegetale totale (Geoportale dell'Emilia-Romagna); 2) struttura della copertura, tramite il *Canopy height model* (CHM) (derivato sottraendo un *Digital Elevation Model* - DEM - da un *Digital Surface Model* - DSM); 3) qualità della copertura composta da tre sub-indicatori: 3a) pendenza, determinata dal DEM; 3b) *il Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) calcolato da immagini Sentinel-2; 3c) invasività, per perseguire le nostre finalità è stato sostituito il sub-indice che faceva riferimento alla sola *Arundo donax* con il sub-indice di invasività di RiVe; 4) alterazioni della zona riparia,

identificate tramite l'elaborazione di mappe dell'uso del suolo. Questa metodologia consente di valutare la qualità della zona riparia su scala spaziale estesa, integrando osservazioni sul campo a scala locale (Figura 1). La delimitazione delle zone ripariali si è avvalsa di un DEM generato da dati LIDAR (*Light Detection and Ranging*) disponibili sul [Geoportale nazionale](#) dopo richiesta formale. Come prodotto finale viene generato un raster avente valori dei pixel pari al punteggio dell'indice QBR-GIS, a cui è stata assegnata una classe di qualità dell'habitat ripariale in base al punteggio ottenuto. Il punteggio massimo assegnato da QBR-GIS è 50 che viene suddiviso anche in questo caso in cinque classi di qualità.

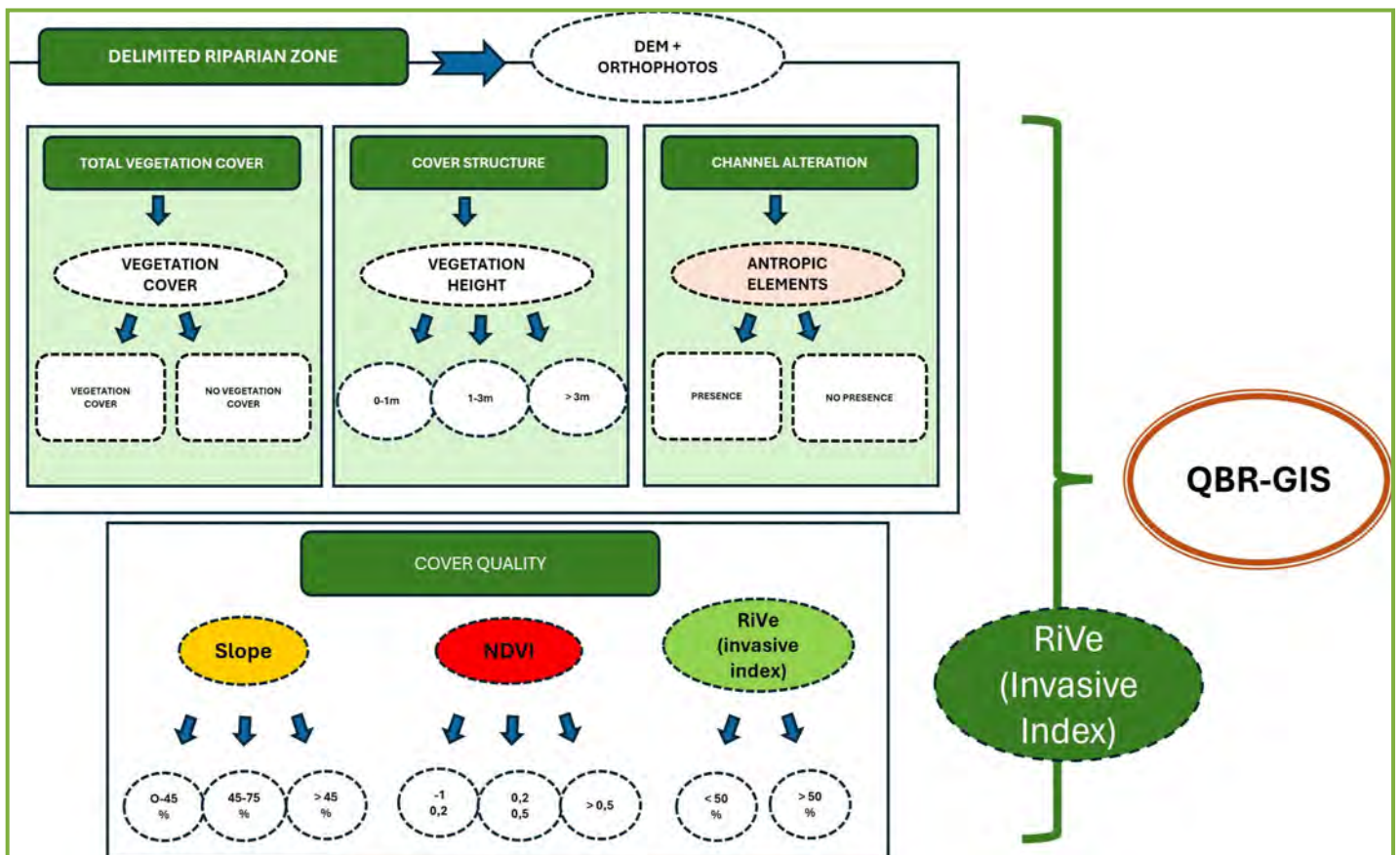


Figura 1. Flusso di lavoro utilizzato per il calcolo del QBR-GIS con l'integrazione dell'indice di invasività RiVe (fonte: elaborazione degli Autori).

## Area di studio

L'area di studio è localizzata lungo il fiume Idice, in particolare nei tratti che attraversano i comuni di San Lazzaro di Savena e Castenaso in provincia di Bologna. Il fiume Idice nasce nell'Appennino Tosco-Emiliano e, per gran parte della sua lunghezza, attraversa l'area metropolitana di Bologna. È lungo 78 km e, tra gli affluenti del fiume Reno, ha il bacino idrografico più ampio e la seconda portata media più alta. A Castenaso ha una portata media di circa 12 m<sup>3</sup>/s. Il torrente Idice è soggetto a portate torrenziali, con picchi di portata che si verificano tipicamente da dicembre a marzo. Durante i mesi estivi, la portata del fiume Idice diminuisce, creando pozze non collegate, una condizione aggravata dai cambiamenti climatici. La zona ha un clima sub-continentale con una piovosità media annua di circa 700 mm. L'area di studio tra i due comuni presenta un contesto geografico e ambientale di notevole interesse e riconosciuta dalla Regione Emilia-Romagna come Area di Riequilibrio Ecologico (ARE). L'area è caratterizzata da un paesaggio molto vario: a monte, nella zona collinare a ridosso del Parco dei Gessi Bolognesi è prevalentemente naturale; nella zona intermedia attraversa una zona periferica dell'abitato di San Lazzaro di Savena e infine, nel tratto a valle nel territorio di Castenaso, scorre in un ambito prevalentemente ad agricoltura intensiva. Nonostante l'ambiente fortemente industrializzato e densamente abitato della Pianura Padana, il torrente Idice mantiene un corridoio vegetale continuo fino al tratto sospeso della bassa pianura. Il fiume svolge un ruolo fondamentale nel mantenimento della biodiversità autoctona, fungendo da collegamento tra gli ecosistemi collinari e

quelli di pianura. Tale importanza è particolarmente significativa in un'area dove le attività agricole e urbane hanno portato alla frammentazione e al degrado degli habitat naturali ([Regione Emilia-Romagna, 2023](#)).

## RISULTATI

### Analisi della vegetazione riparia lungo il torrente Idice

Di seguito si riporta un esempio di applicazione della metodologia RiVe integrata con QBR-GIS. Nell'area di studio dal 2021 al 2023 sono stati fatti 215 rilievi sul campo effettuati in parte da studenti magistrali (75%) e in parte da un gruppo di cittadini precedentemente formati che hanno svolto il monitoraggio autonomamente (25%). Le specie igrofile inserite nella lista delle specie target sono tutte presenti: *Salix alba*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa* e *Populus alba*. In generale è stata registrata una copertura dominante nello strato superiore (maggiore di 3 metri) con una tendenza a diminuire in modo significativo nello strato inferiore (tra 1 e 3 metri). Le specie mesofile (*Acer campestre*, *Carpinus betulus*, *Ulmus minor* e *Quercus robur*) adattabili a condizioni di umidità moderate, mostrano una distribuzione più equilibrata tra i due strati. Infine, le specie invasive *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia* e *Acer negundo*, evidenziano un comportamento opposto alle igrofile con percentuali di copertura significativamente più elevate nello strato rigenerativo (Figura 2). La copertura di *Amorpha fruticosa* essendo solo in forma arbustiva domina lo strato inferiore con percentuali elevate, segnalando un impatto significativo sulla biodiversità del sottobosco. Le evidenti differenze tra i due strati, probabilmente, sono dovute a diversi fattori, tra cui un possibile abbassamento

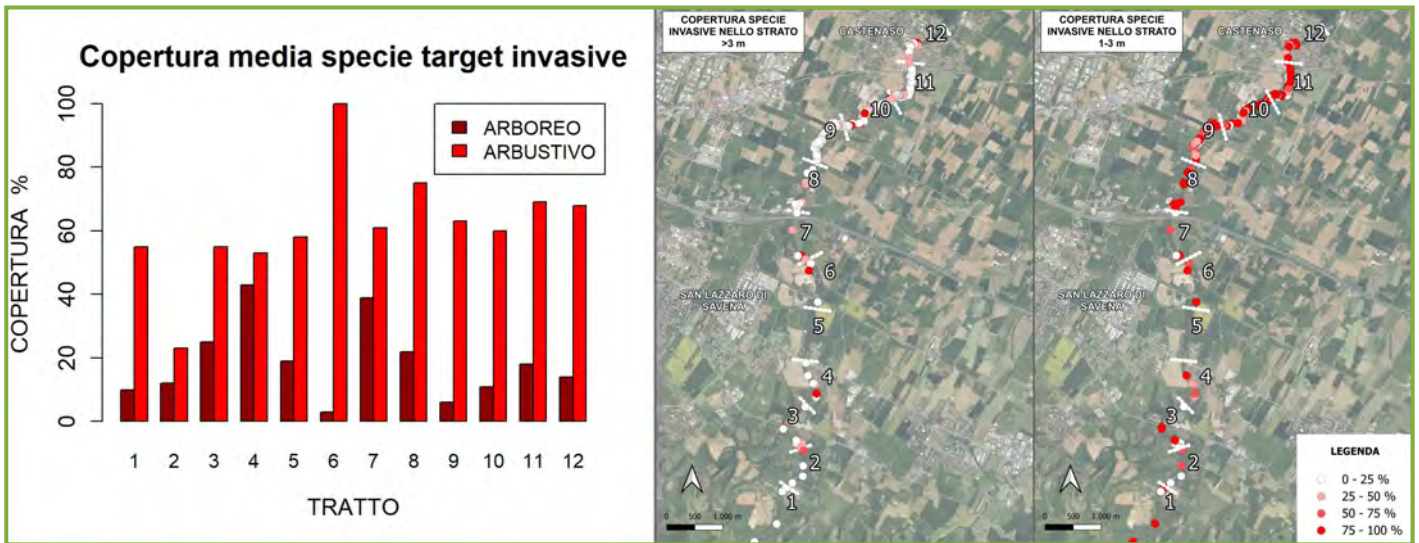


Figura 2. A sx: Copertura specie invasive nei 12 tratti monitorati, torrente Idice. A dx: Mappa della distribuzione della copertura delle specie invasive nello strato superiore e in quello rigenerativo (fonte: elaborazione degli Autori).

della falda acquifera dovuto all'incisione in diversi tratti, che riduce la saturazione dei suoli creando condizioni più favorevoli non solo alle specie autoctone meno idro-esigenti, ma anche alle specie invasive opportuniste. Altra causa possono essere le pratiche, anche se molto localizzate, di gestione inadeguate che possono contribuire al deterioramento delle condizioni ambientali, limitando la rigenerazione e lo sviluppo delle specie igrofile. Infine, l'uso del suolo circostante ad agricoltura intensiva può facilmente agevolare la colonizzazione delle invasive. Queste osservazioni indicano che le dinamiche di copertura vegetale lungo il torrente Idice sono complesse e variabili. Le strategie di gestione del bosco ripario dovranno quindi essere attentamente pianificate per supportare la crescita delle specie igrofile native, limitare l'avanzata delle specie invasive e promuovere un mosaico di vegetazione che rifletta e sostenga la biodiversità e la resilienza ecologica dell'area.

### L'indice RiVe

L'analisi dell'indice RiVe ha permesso di

valutare lo stato ecologico del bosco ripario lungo il torrente Idice, rivelando una variazione significativa nella salute dell'ecosistema ripario. Mentre alcuni rilievi mostrano uno stato ecologico ottimo o buono, altri presentano segnali preoccupanti di deterioramento. In particolare, i tratti 4, 5, 7 e 8 sono emersi come i più degradati, con una prevalenza di condizioni classificate come "Cattivo" o "Pessimo". La degradazione osservata nei tratti 4 e 5 è probabilmente da attribuire alla vicinanza dei centri abitati. Mentre nei tratti 7 e 8, la presenza dell'Autostrada Adriatica è sicuramente un fattore di disturbo dell'ambiente ripario, data la potenziale esposizione a inquinamento veicolare e soprattutto dalla gestione di queste infrastrutture che richiedono tagli frequenti della vegetazione (Figura 3).

### L'indice QBR-GIS

La valutazione dei sub-indicatori offre una panoramica dettagliata delle condizioni lungo il tratto monitorato. In particolare, la struttura della vegetazione, le alterazioni dell'area e l'indice NDVI mettono in evidenza in generale

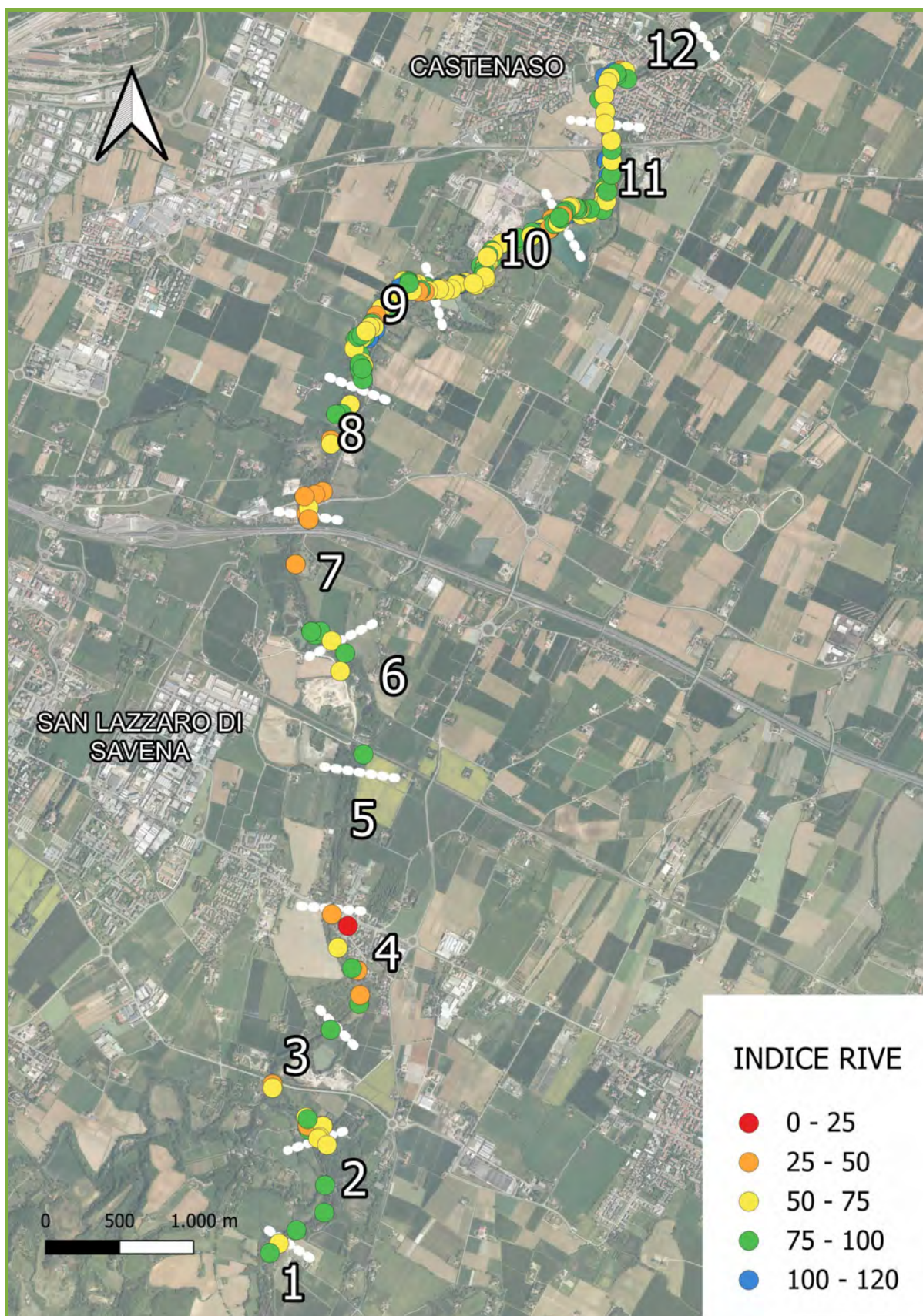


Figura 3. Rappresentazione georeferenziata delle classi dell'Indice RiVe (fonte: elaborazione degli Autori).

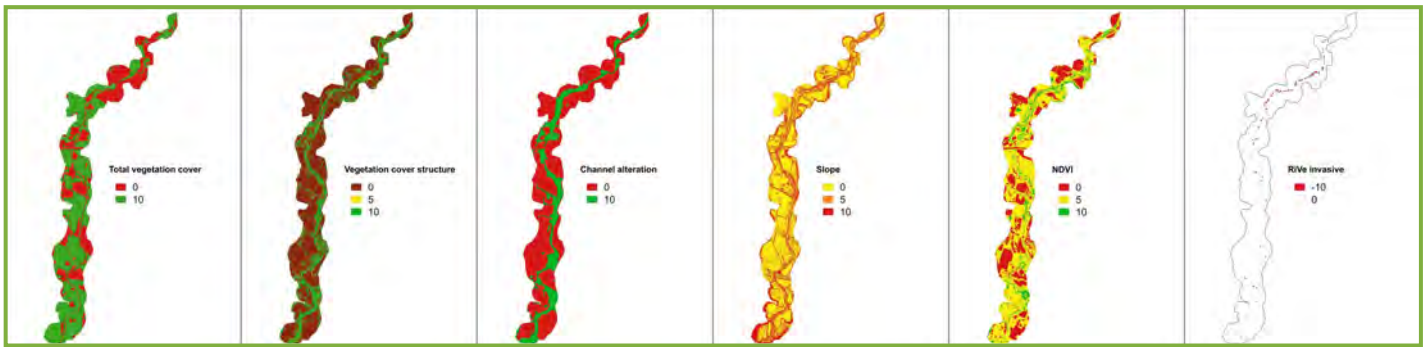


Figura 4. Raster indicatori dell'indice QBR-GIS, da sx a dx: Total vegetation cover, Vegetation cover structure, Channel alteration, Slope, NDVI, RiVe invasive (fonte: elaborazione degli Autori).

una buona qualità della fascia a ridosso del canale rispetto ad un territorio circostante più degradato (Figura 4). L'analisi dell'indice QBR-GIS fornisce ulteriori informazioni sulla salute dell'ecosistema ripario lungo il torrente Idice. I risultati mostrano una distribuzione spaziale significativa dello stato ecologico della zona riparia. I tratti con punteggio più alto, come il tratto 2 e il tratto 4, presentano condizioni ecologiche ottime o buone. Questi tratti sono caratterizzati da una copertura vegetale completa, una struttura della copertura ben sviluppata, una qualità della copertura elevata e un livello minimo di alterazione del canale. La presenza di tali condizioni indica un ambiente ripario più sano e resiliente. Potenziali soluzioni per mantenere e migliorare queste condizioni includono la protezione dell'habitat, la gestione sostenibile delle risorse idriche e la promozione di pratiche agricole e urbanistiche che riducano l'impatto negativo sull'ecosistema ripario. I tratti 7 e 8 del torrente Idice mostrano condizioni ecologiche compromesse, caratterizzate da una copertura vegetale parziale, una struttura della copertura meno sviluppata e una bassa qualità della copertura. Come già rilevato per l'indice RiVe la presenza dell'Autostrada Adriatica è un fattore significativo che

contribuisce al deterioramento delle condizioni ecologiche in entrambi i tratti, causando disturbi nell'habitat ripario e influenzando negativamente la vegetazione e la struttura del canale (Figura 5).

## CONCLUSIONI

L'analisi dettagliata dei dati di monitoraggio della qualità del bosco ripario mediante gli indici QBR-GIS e RiVe offre una panoramica approfondita delle dinamiche ecologiche che caratterizzano la vegetazione riparia lungo il torrente Idice. Un elemento distintivo di questa ricerca è stata l'applicazione dell'indice RiVe, che ha promosso un coinvolgimento diretto dei cittadini nella raccolta dei dati. Tale approccio ha dimostrato come la Citizen Science possa giocare un ruolo cruciale nell'educazione ambientale e nella conservazione, sottolineando il valore dell'inclusione della comunità nelle attività di monitoraggio ambientale. D'altra parte, l'uso dell'indice QBR-GIS ha evidenziato le potenzialità del telerilevamento nella valutazione su vasta scala degli habitat ripari, le quali in futuro verranno sempre più implementate e utilizzate nel monitoraggio ambientale. La combinazione di queste due metodologie ha permesso di superare le limitazioni intrinseche di ciascun approccio,

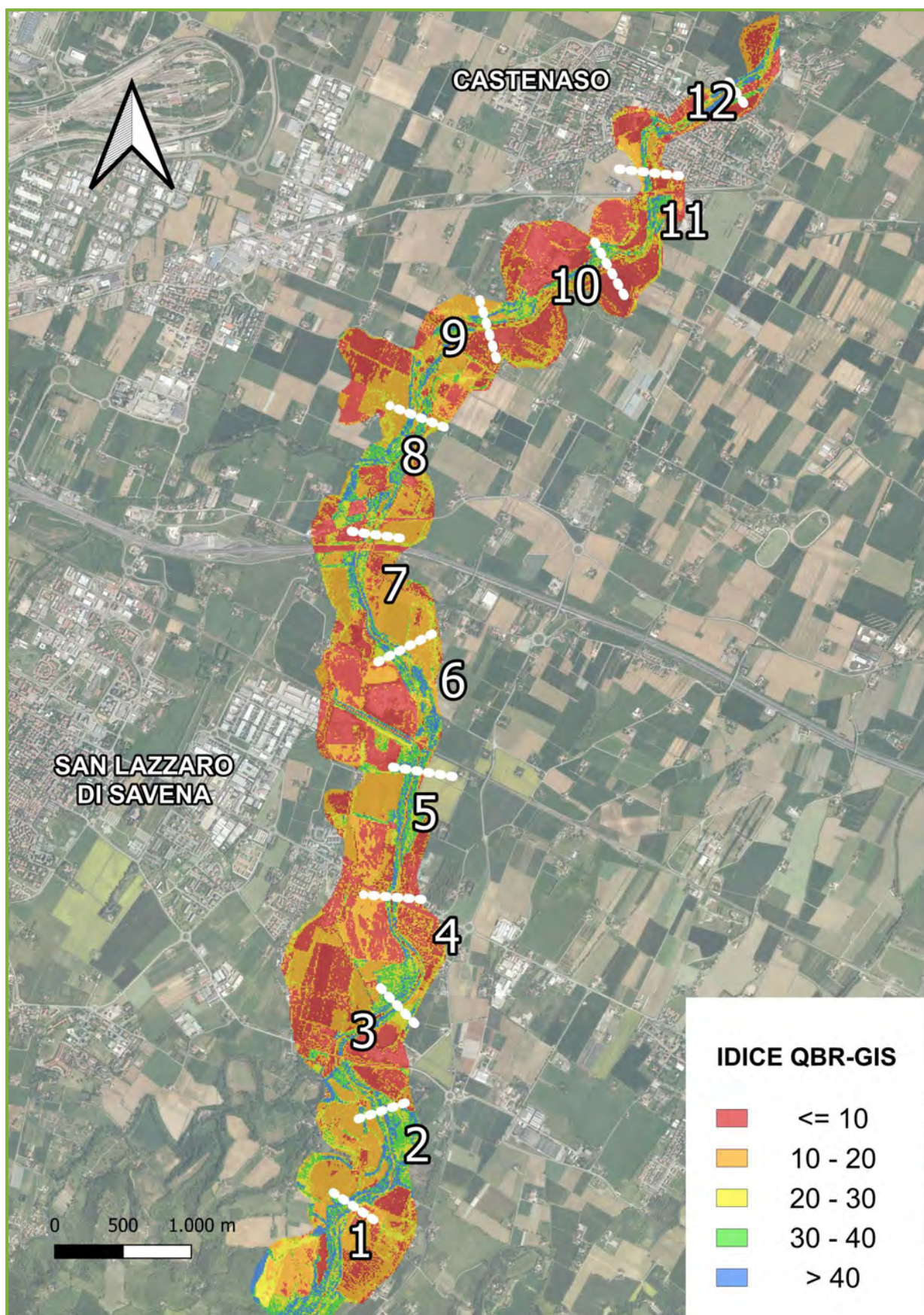


Figura 5. Rappresentazione georeferenziata delle classi di qualità dell'Indice QBR-GIS (fonte: elaborazione degli Autori).

offrendo una visione complessiva che integra dettaglio locale e analisi globale. Nel complesso i risultati evidenziano l'efficacia di un approccio integrato alla gestione sostenibile delle zone riparie, combinando le potenzialità del telerilevamento con il valore aggiunto della partecipazione comunitaria sottolineando l'importanza di un approccio olistico e partecipativo alla conservazione degli ecosistemi fluviali in linea con gli obiettivi della Direttiva Quadro sulle Acque e della [Nature Restoration Law](#). La metodica RiVe attualmente viene utilizzata in altri due contesti geografici: bacino dell'Ombrone e dell'Aniene, e nel prossimo futuro si prevede l'utilizzo in altri contesti nazionali ed europei. Le prospettive future nell'ambito del telerilevamento ambientale sono estremamente promettenti, con previsioni di un notevole aumento nell'uso di questa tecnologia che potrà essere affiancata da attività di *Citizen Science*. Questo incremento porterà inevitabilmente a nuovi sviluppi nella ricerca, consentendo analisi su scala più ampia e con un livello di dettaglio maggiore. Inoltre, grazie alla pubblicazione dei dati nella infrastruttura tecnica del Network Nazionale della Biodiversità viene garantito l'accesso ai dati monitorati facilitando l'informazione verso i cittadini e i decisori politici nell'ottica dell'adozione di approcci più sostenibili e in linea con le normative europee sull'ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- Boz B., Gumiero B., 2016. [Nitrogen removal in an afforested riparian zone: the contribution of denitrification processes](#). *Hydrobiologia* 774, 167–182.
- Braun-Blanquet J., 1932. *Plant sociology. The study of plant communities*. First. ed. McGraw-Hill book company, inc., New York and London.
- Brintrup K., Amigo C., Fernández J., Hernández A., Pérez F., Félez-Bernal J., Butturini A., Saez-Carrillo K., Yevenes M.A., Figueroa R., 2019. [Comparison of organic matter in intermittent and perennial rivers of mediterranean Chile with the support of citizen science](#). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 92, 1–10.
- Capon S.J., Chambers L.E., Mac Nally R., Naiman R.J., Davies P., Marshall N., Pittock J., Reid M., Capon T., Douglas M., Catford J., Baldwin D.S., Stewardson M., Roberts J., Parsons M., Williams S. E., 2013. [Riparian ecosystems in the 21st century: hotspots for climate change adaptation?](#) *Ecosystems*, 16, 359-381.
- Chandler M., See L., Copas K., Bonde A.M.Z., López B.C., Danielsen F., Legind J.K., Masinde S., Miller-Rushing A.J., Newman G., Rosemartin A., Turak E., 2017. [Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring](#). *Biol. Conserv.* 213, 280–294.
- Corenblit D., Tabacchi E., Steiger J., Gurnell A.M., 2007. [Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches](#). *Earth-Science Rev.* 84, 56–86.
- Dufour S., Rinaldi M., Piégay H., Michalon A., 2015. [How do river dynamics and human influences affect the landscape pattern of fluvial corridors? Lessons from the Magra River, Central–Northern Italy](#). *Landscape Urban Plan.* 134, 107–118.
- Dufour S., Rodríguez-González P.M., Laslier M., 2019. [Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics](#).

[approaches and needs in a globally changing world](#). *Sci. Total Environ.* 653, 1168–1185.

Fraisl D., Hager G., Bedessem B., Gold M., Hsing P.Y., Danielsen F., Hitchcock C.B., Hulbert J.M., Piera J., Spiers H., Thiel M., Haklay M., 2022. [Citizen science in environmental and ecological sciences](#). *Nat. Rev. Methods Prim.* 2022 21 2, 1–20.

Goetz S.J., Wright R.K., Smith A.J., Zinecker E., Schaub E., 2003. [IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region](#) *Remote Sens. Environ.* IKONOS Fine Spatial Resolution Land Observation, 88, 195-2008.

González del Tánago, M., Martínez-Fernández V., Aguiar F.C., Bertoldi W., Dufour S., García de Jalón D., Garófano-Gómez V., Mandzukovski D., Rodríguez-González P.M., 2021. [Improving river hydromorphological assessment through better integration of riparian vegetation: Scientific evidence and guidelines](#). *J. Environ. Manage.* 292, 112730.

Gran K.B., Tal M., Wartman E.D., 2015. [Co-evolution of riparian vegetation and channel dynamics in an aggrading braided river system, Mount Pinatubo, Philippines](#). *Earth Surf. Process. Landforms* 40, 1101–1115.

Groh T.A., Isenhardt T.M., Schultz R.C., 2020. [Long-term nitrate removal in three riparian buffers: 21 years of data from the Bear Creek watershed in central Iowa, USA](#). *Sci. Total Environ.* 740, 140114.

Gumiero B., Mant J., Hein T., Elso J., Boz B., 2013. [Linking the restoration of rivers and riparian zones/wetlands in Europe: Sharing knowledge through case studies](#). *Ecol. Eng.* 56, 36–50.

Gumiero B., Rinaldi M., Belletti B., Lenzi D., Puppi G., 2015. [Riparian vegetation as indicator of channel adjustments and environmental conditions: the case of the Panaro River \(Northern Italy\)](#). *Aquat. Sci.* 77, 563–582.

Gumiero B., Boz B., 2017. [How to stop nitrogen leaking from a Cross compliant buffer strip?](#) *Ecol. Eng.* 103, 446–454.

Gurnell A. M., Bertoldi W., Corenblit D., 2012. [Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers](#). *Earth-Science Reviews*, 111, 129-141.

Gurnell A.M., Corenblit D., García de Jalón D., González del Tánago M., Grabowski R.C., O'Hare M.T., Szewczyk M., 2016. [A conceptual model of vegetation–hydrogeomorphology interactions within river corridors](#). *River Res. Appl.* 32, 142–163.

Litteral J., Shochat E., 2017. [The role of landscape-scale factors in shaping urban bird communities](#). *Ecol. Conserv. Birds Urban Environ.* 135–159.

Loiselle S.A., Cunha D.G.F., Shupe S., Valiente E., Rocha L., Heasley E., Belmont P.P., Baruch A., 2016. [Micro and macroscale drivers of nutrient concentrations in urban streams in South, Central and North America](#). *PLoS One* 11, e0162684.

Magalhães J., Guasch B., Arias R., Giardullo P., Elorza A., Navalhas I., Marín-González E., Mazzonetto M., Luís, C. 2022. [A methodological approach to co-design citizen science communication strategies directed to quadruple-helix stakeholders](#). *J. Sci. Commun.* 21 1–20.

- McKinley D.C., Miller-Rushing A.J., Ballard H.L., Bonney R., Brown H., Cook-Patton S.C., Evans D.M., French R.A., Parrish J.K., Phillips T.B., Ryan S.F., Shanley L.A., Shirk J.L., Stepenuck K.F., Weltzin J.F., Wiggins A., Boyle O.D., Briggs R.D., Chapin S.F., Hewitt D.A., Preuss P.W., Soukup M.A., 2017. [Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection](#). *Biol. Conserv.* 208, 15–28.
- Munné A., Prat N., Solà C., Bonada N., Rieradevall M., 2003. [A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index](#). *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 13, 147–163.
- Murray N.J., Keith D.A., Bland L.M., Ferrari R., Lyons M.B., Lucas R., Pettorelli N., Nicholson E., 2018. [The role of satellite remote sensing in structured ecosystem risk assessments](#). *Sci. Total Environ.*, 619–620, 249-257.
- Osterkamp W. R., Hupp C. R., 2010. [Fluvial processes and vegetation—glimpses of the past, the present, and perhaps the future](#). *Geomorphology*, 116, 274-285.
- Robinson L.D., Cawthray J.L., West S.E., Bonn A., Ansine J., 2018. [Ten principles of citizen science](#). *Citiz. Sci. Innov. Open Sci. Soc. Policy* 27–40.
- Schnitzler A., Hale B.W., Alsum E.M., 2007. [Examining native and exotic species diversity in European riparian forests](#). *Biol. Conserv.* 138, 146–156.
- Segura-Méndez F. J., Pérez-Sánchez J., Senent-Aparicio J., 2023. [Evaluating the riparian forest quality index \(QBR\) in the Luchena River by integrating remote sensing, machine learning and GIS techniques](#). *Ecohydrology & Hydrobiology*, 23, 469-483.
- Shanley L.A., Parker A., Schade S., Bonn A., 2019. [Policy Perspectives on Citizen Science and Crowdsourcing](#). *Citiz. Sci. Theory Pract.* 4.
- Shuker L.J., Gurnell A.M., Wharton G., Gurnell D.J., England J., Finn Leeming B.F., Beach E., 2017. [MoRPh: a citizen science tool for monitoring and appraising physical habitat changes in rivers](#). *Water Environ. J.* 31, 418–424.
- Steiger J., Tabacchi E., Dufour S., Corenblit D., Peiry J. L., 2005. [Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel–floodplain river systems: a review for the temperate zone](#). *River Research and Applications*, 21(7), 719-737.
- Tockner K., Schiemer F., Baumgartner C., Kum G., Weigand E., Zweimüller I., Ward J. V., 1999. [The Danube restoration project: species diversity patterns across connectivity gradients in the floodplain system](#). *River Research and Applications*, 15, 245-258.
- Turbé A., Barba J., Pelacho M., Mugdal S., Robinson L.D., Serrano-Sanz F., Sanz F., Tsinaraki C., Rubio J.-M., Schade S., 2019. [Understanding the Citizen Science Landscape for European Environmental Policy: An Assessment and Recommendations](#). *Citiz. Sci. Theory Pract.*
- Turner D.S., Richter H.E., 2011. [Wet/dry mapping: Using citizen scientists to monitor the extent of perennial surface flow in dryland regions](#). *Environ. Manage.* 47, 497–505.
- Urbanič G., Politti E., Rodríguez-González P.M., Payne R., Schook D., Alves M.H., Anđelković A., Bruno D., Chilikova-Lubomirova M., Di Lonardo S., Egozi R.,

Garófano-Gómez V., Gomes Marques I., González del Tánago M., Gültekin Y.S., Gumiero B., Hellsten S., Hinkov G., Jakubínský J., Janssen P., Jansson R., Kelly-Quinn M., Kiss T., Lorenz S., Martinez Romero R., Mihaljević Z., Papastergiadou E., Pavlin Urbanič M., Penning E., Riis T., Šibík J., Šibíková M., Zlatanov T., Dufour S., 2022. [Riparian Zones - From Policy Neglected to Policy Integrated](#). *Front. Environ. Sci.* 10, 868527.

Zaimes G.N., 2020. [Mediterranean Riparian Areas - Climate change implications and recommendations](#). *J. Environ. Biol.* 41, 957–965.