

2 Modellizzazione eco-idrodinamica degli habitat ripari

La disponibilità di habitat per le specie vegetali golenali dipende dalle caratteristiche climatiche e dalle proprietà del suolo, oltre che dalle condizioni idromorfologiche locali del corso d'acqua. Per prevedere gli habitat adatti alla tamerice alpina (*Myricaria germanica*), una specie tipica dei banchi di ghiaia golenali, si sono utilizzati un modello ecologico su larga scala e un modello idrodinamico bidimensionale. Il presente capitolo include una descrizione dell'approccio modellistico e un'applicazione lungo il fiume Moesa (GR).

Erik van Rooijen, Davide Vanzo, David Vetsch, Annunziato Siviglia e Sabine Fink

2.1 Modellizzazione degli habitat nei paesaggi fluviali

I paesaggi fluviali sono composti da una varietà di forme del terreno, che ospitano diversi habitat per le specie terrestri, acquatiche e anfibe. Un habitat è il risultato di particolari fattori fisici e biotici e rappresenta un luogo atto a favorire l'insediamento, la sopravvivenza e la riproduzione di una specie (fig. 7).

L'identificazione e la quantificazione degli habitat è fondamentale per la gestione dei paesaggi fluviali. La quantità e la

varietà di habitat sono legate alla biodiversità e alla resilienza ecologica di un determinato ambiente (cfr. cap. 5; Rachelly *et al.* 2023). L'analisi degli habitat ha applicazioni pratiche per i gestori dei corsi d'acqua, ad esempio per valutare le conseguenze dei cambiamenti delle condizioni ambientali, come il regime idrologico (p. es. le piene naturali) o le variabili climatiche (p. es. l'aumento della temperatura), sulle specie bersaglio, vegetali o animali. Esempi di risultati dell'analisi degli habitat fluviali sono l'identificazione e la quantificazione di aree adatte alla germinazione di semi o alla riproduzione dei pesci. Tali risultati forniscono un supporto quantitativo alle decisioni di gestione fluviale, come la selezione dei luoghi

Figura 7

Il paesaggio fluviale molto dinamico lungo il fiume Moesa, vicino a Cabiolo (GR), ospita piante adulte di tamerice alpina (*Myricaria germanica*) in zone parzialmente umide (pianta con fiori in primo piano), che sopravvivono anche durante i periodi di siccità (a). Le piante adulte sopravvivono su banchi di ghiaia (b) e le piantine si insediano su terreni umidi e sabbiosi (c).



migliori per la conservazione delle specie mediante la semina artificiale di una specie vegetale a rischio o la progettazione di rilasci più efficaci di pesci da piscicoltura.

I modelli ambientali (cfr. cap. 1; Fink e Scheidegger 2023) sono rappresentazioni informative e semplificate di componenti del mondo reale. Consentono di capire gli elementi fondamentali di processi complessi e possono essere applicati a varie scale spaziali, da quella locale a quella globale. I modelli di habitat sono stati applicati in molteplici contesti, ad esempio per valutare la distribuzione di specie di farfalle (Maggini 2011) e la vulnerabilità di specie di uccelli (Maggini *et al.* 2014) in Svizzera. In ambito fluviale, i modelli sono spesso utilizzati per quantificare gli habitat dei pesci (p. es. MesoHABSIM; Parasiewicz 2011), ma anche la successione della vegetazione nei paesaggi fluviali (vegetazione CASiMiR; Ecohydraulic Engineering GmbH 2019).

Il presente capitolo propone un approccio modellistico dell'habitat della tamerice alpina (*Myricaria germanica*), una specie arbustiva inserita nella Lista rossa (fig. 7). Questa pianta pioniera vive su banchi di ghiaia nella zona riparia dinamica e ha esigenze specifiche di habitat a seconda dello stadio di vita. Il clima, la geologia, la topografia e l'idrografia sono tutti elementi importanti per gli arbusti adulti. È necessario, ad esempio, un frequente ricambio dei sedimenti per evitare che vengano soppiantati da altre specie pioniere come i salici (*Salix* spp.). Gli adulti iniziano a fiorire dopo due anni se la temperatura dell'aria in tarda primavera e in estate è abbastanza elevata. Singoli eventi di piena possono trascinare via o sotterrare le piante giovani. Le condizioni ambientali devono quindi rimanere favorevoli per diversi anni affinché le piante si stabiliscano completamente.

I semi della tamerice alpina germinano entro 24–48 ore su terreni sabbiosi umidi, cioè in aree che sono state inondate di recente. Un habitat favorevole all'insediamento delle piantine deve soddisfare due requisiti: (i) la presenza di piante adulte durante la stagione di dispersione dei semi (da maggio a settembre) per garantire la produzione di semi e (ii) un'elevata frequenza di inondazione nelle aree circostanti per favorire la germinazione dei semi.

2.2 Collegamento di modelli ecologici e idrodinamici

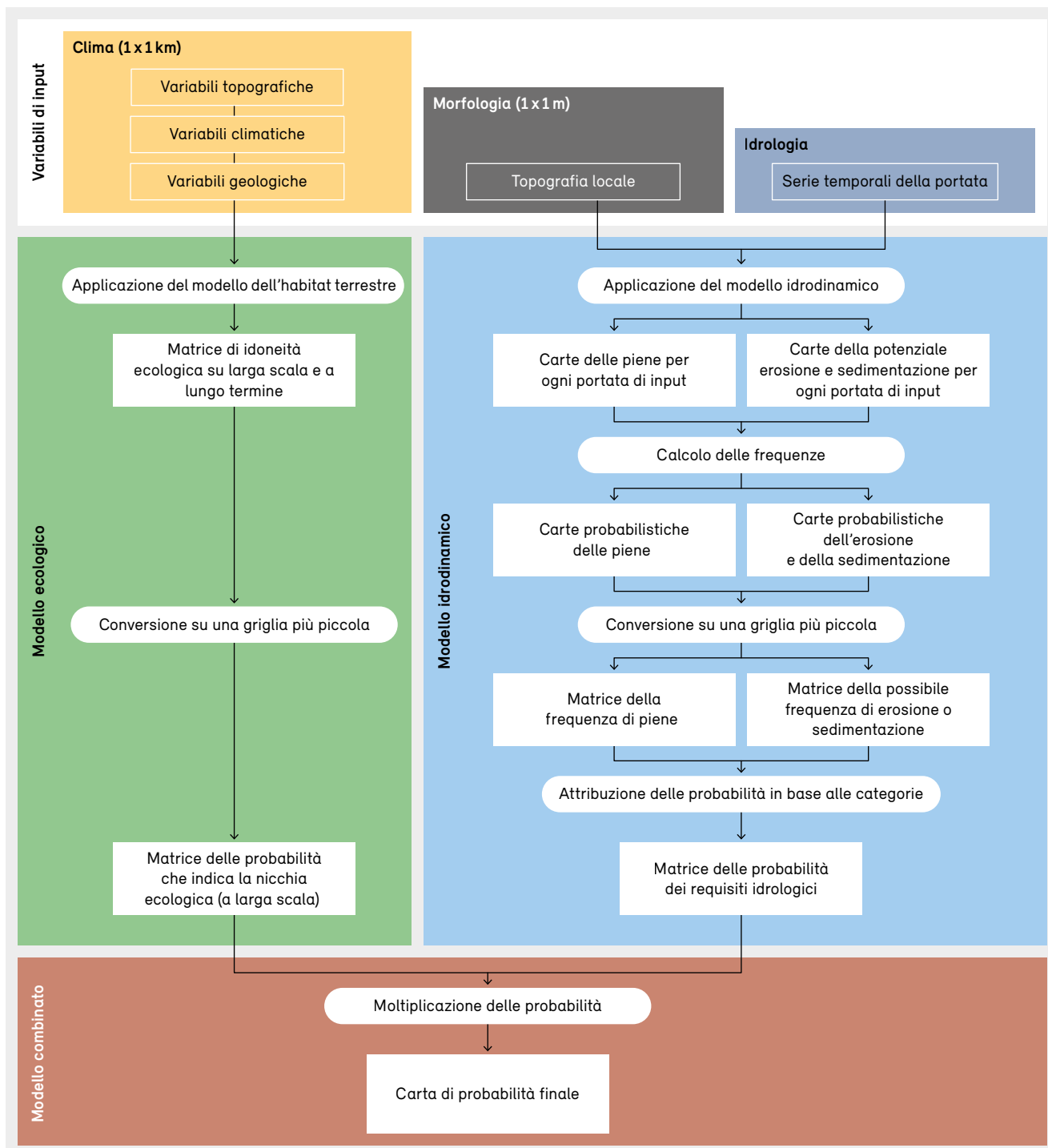
Per prevedere l'habitat adatto alle specie nella zona golenale dinamica, abbiamo combinato due modelli: (i) un modello ecologico statistico della distribuzione della tamerice alpina e (ii) un modello idrodinamico deterministico bidimensionale per la simulazione del regime di deflusso locale (cfr. riquadro 4). Il modello ecologico prevede l'habitat della tamerice alpina in base a indicatori climatici, geologici e topografici su larga scala (regionale) (cfr. cap. 1; Fink e Scheidegger 2023). Il risultato principale è una carta indicante la probabilità che la specie bersaglio possa stabilirsi e sopravvivere in diverse aree. Per aumentare l'accuratezza della previsione dell'habitat per la tamerice alpina su scala locale (di tratto), che dipende fortemente dalle condizioni idrodinamiche locali, il modello ecologico è stato combinato con un modello idrodinamico deterministico bidimensionale (cfr. riquadro 4). Il flusso di lavoro risultante, con le fasi principali e gli input necessari, è illustrato nella figura 8.

Riquadro 4: Modelli idrodinamici

I modelli idrodinamici risolvono una serie di equazioni che descrivono la dinamica dei fluidi per simulare il deflusso nei corsi d'acqua. I modelli idromorfodinamici dispongono inoltre di un solutore per simulare l'erosione e il deposito di sedimenti lungo il corso d'acqua. I risultati di queste simulazioni sono la distribuzione spaziale della profondità e della velocità di deflusso e, nel caso dei modelli morfodinamici, la quota dell'alveo. I modelli idrodinamici richiedono una serie di dati di input: in questo studio abbiamo utilizzato un modello digitale del terreno (DTM), una serie di dati idrologici (i valori di portata) e una stima della rugosità dell'alveo. Nel caso di una simulazione morfodinamica sono necessarie maggiori informazioni sulle caratteristiche dei sedimenti. In Svizzera, i dati di portata sono misurati e disponibili in molti siti, mentre i restanti dati di input devono spesso essere raccolti ad hoc per ogni sito di studio. Per le simulazioni idrodinamiche di questo studio abbiamo utilizzato BASEMENT (Vanzo *et al.* 2021), uno strumento gratuito per la simulazione di molteplici processi fluviali.

Figura 8

Flusso di lavoro che collega i modelli ecologico e idrodinamico. I risultati dei due modelli sono combinati per ottenere una carta probabilistica, che prevede con maggiore precisione l'habitat delle piante. I blocchi colorati rappresentano le sottosezioni della metodologia. I rettangoli più piccoli rappresentano le serie di dati, i rettangoli arrotondati le diverse azioni.



2.2.1 Modellizzazione ecologica

Il modello ecologico statistico degli habitat per le piante adulte fornisce una matrice di idoneità su larga scala basata su predittori climatici, geologici e topografici. Con questa matrice è stato possibile identificare aree potenzialmente adatte su una griglia di 1 × 1 chilometro. Utilizzando una serie di dati a lungo termine che includono tutta la Svizzera, il modello ha fornito una carta di idoneità per la presenza della tamerice alpina (cfr. cap. 1; Fink e Scheidegger 2023).

2.2.2 Modellizzazione idrodinamica

Utilizzando il freeware BASEMENT (www.basement.ethz.ch; Vanzo *et al.* 2021) è stato messo a punto e calibrato un modello idrodinamico bidimensionale del sito di studio (cfr. par. 2.3). Con i risultati delle simulazioni di BASEMENT sono state generate carte di frequenza delle piene e stimate le aree soggette a erosione o deposito di sedimenti nei diversi regimi di deflusso. Ulteriori informazioni sulla modellizzazione idrodinamica figurano nel riquadro 4.

2.2.3 Combinazione dei modelli

I modelli ecologico e idrodinamico sono stati combinati per realizzare una previsione dettagliata dei luoghi adatti all'insediamento di piantine di tamerice alpina: essendo lo stadio di vita più vulnerabile, un insediamento riuscito delle piantine garantisce la sopravvivenza a livello locale. La dispersione e l'insediamento dei semi sono stati previsti utilizzando: (i) la matrice degli habitat per le piante adulte del modello ecologico, (ii) le carte delle zone inondate e (iii) le carte di erosione o deposito del modello idrodinamico (fig. 8). Moltiplicando i tassi di probabilità per queste tre carte su una scala spaziale fine (griglia di 1 × 1 m come sottocampioni della griglia principale; per i dettagli cfr. fig. 8), sono state prodotte carte probabilistiche, che indicano i luoghi in cui è probabile che le piantine di tamerice alpina attecchiscano.

2.3 Caso di studio: fiume Moesa

2.3.1 Descrizione del sito e raccolta dei dati

Il modello combinato è stato testato su una piccola zona golenale del fiume Moesa (GR) (fig. 9). Il tratto si trova vicino al villaggio di Cabbio, in un'area in cui il fiume non è mai stato canalizzato, ma è limitato da argini di protezione

Figura 9

Fotografia aerea del sito di studio lungo il fiume Moesa, vicino a Cabbio (GR). La zona golenale è delimitata da due argini laterali. La freccia bianca indica la direzione della corrente (da nord a sud) e il rettangolo bianco rappresenta la sezione del sito corrispondente ai risultati modellizzati riportati nella figura 10.

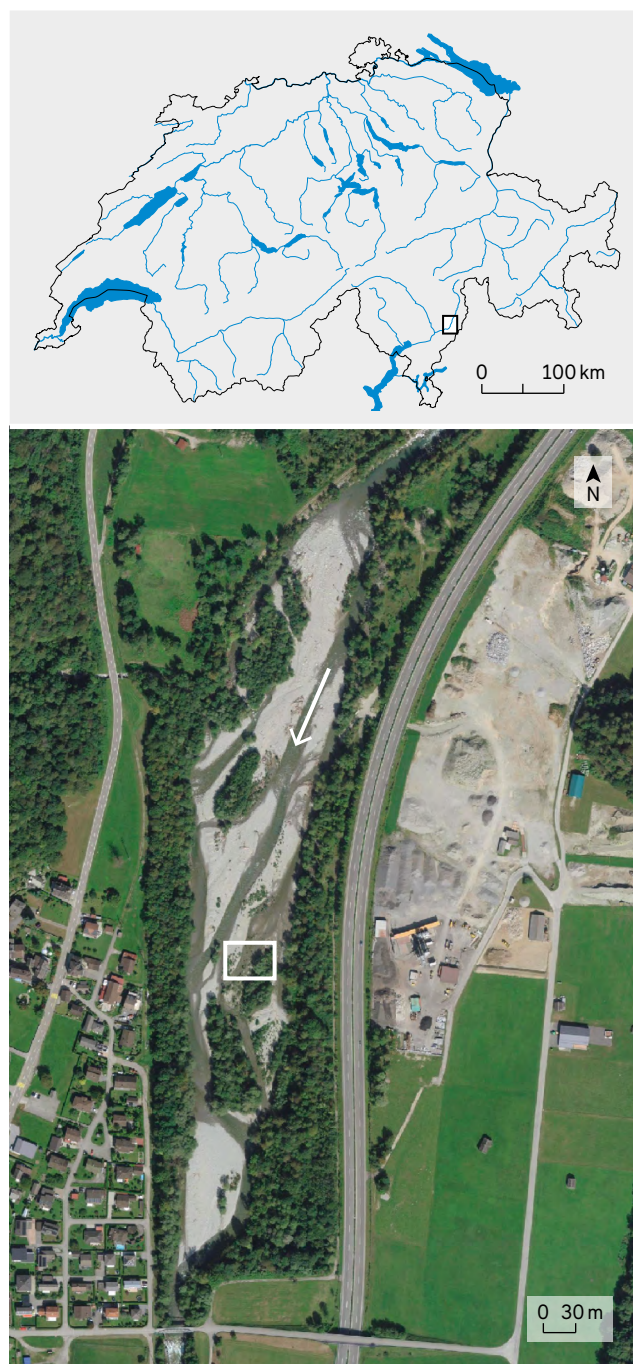


Foto: Swisstopo

contro le piene. La zona golenale ha una lunghezza di circa 800 metri e una larghezza totale compresa tra 100 e 200 metri.

Il sito è stato monitorato da inizio maggio a fine settembre 2020. All'inizio del periodo di studio erano presenti poche tamerice alpine adulte. Durante il periodo di studio, il 7 giugno e il 29 agosto, due piene hanno alterato la topografia del fiume. Sorvolando il sito con un drone, la topografia è stata digitalizzata mediante tecniche di fotogrammetria (*Structure from Motion*; Agisoft 2020). La topografia delle aree sommerse è stata misurata con dispositivi GPS portatili. La presenza della tamerice alpina è stata rilevata ogni due settimane, in modo da coprire la fase riproduttiva della pianta, dalle prime fioriture alla dispersione degli ultimi semi. La posizione esatta delle piante è stata misurata con dispositivi GPS portatili.

Il modello ecologico era basato su dati geologici e climatologici per il periodo 1960–2016, mentre la disponibilità di habitat è stata modellizzata in base ai dati sulle specie del Centro nazionale di dati e informazioni sulla flora svizzera Infloflora (Fink *et al.* 2017; cfr. anche cap. 1; Fink e Scheidegger 2023). I dati idrologici sono stati forniti dall'Ufficio per la natura e l'ambiente del Cantone dei Grigioni.

2.3.2 Valutazione dei risultati della modellizzazione

Per gli individui adulti, il livello di dettaglio del modello ecologico su larga scala da solo era insufficiente, in quanto non indicava perché alcune piante non fossero sopravvissute durante il periodo di studio nel 2020. La distribuzione degli arbusti all'interno del sito suggerisce che i processi di erosione svolgono un ruolo importante nel determinare la sopravvivenza delle piante adulte, ma questi fattori non sono stati considerati nel modello ecologico. Abbiamo pertanto verificato se le informazioni aggiuntive del modello idrodinamico permettevano di prevedere la sopravvivenza della tamerice alpina.

Il modello idrodinamico ha utilizzato dati sulla portata raccolti durante il periodo di studio e informazioni sulla topografia fluviale ad alta risoluzione per valutare la potenziale erosione della ghiaia su una scala spaziale ridotta. L'erosione continua della ghiaia all'inizio di maggio ha provocato la perdita di piante adulte nelle aree che il modello idrodinamico aveva previsto come soggette

all'erosione della ghiaia e alla sedimentazione. Combinando il modello ecologico e quello idrodinamico, i cambiamenti di habitat previsti rispecchiavano accuratamente l'evoluzione degli individui adulti.

Il modello combinato è stato utilizzato principalmente per determinare i luoghi in cui è possibile l'insediamento di piantine di tamerice alpina. Se il modello ecologico è stato importante per prevedere l'habitat degli individui adulti, le aree di piena, erosione e sedimentazione nei periodi di due settimane durante la fase di fioritura sono state utilizzate per prevedere dove i semi potrebbero germinare. Le informazioni combinate dei due modelli hanno permesso di individuare il modello generale dell'habitat adatto alle piantine su piccola scala: sono infatti state effettivamente osservate piantine insediate in alcune delle aree previste dal modello combinato (fig. 10).

2.3.3 Vantaggi del modello combinato

Il principale vantaggio del modello combinato è la possibilità di identificare le aree potenzialmente idonee alla germinazione dei semi a scala più fine. Tali aree sono molto importanti per la ricolonizzazione e la sopravvivenza della tamerice alpina. La maggiore precisione del modello combinato consente di individuare, lungo la zona golenale, i luoghi prioritari per la promozione delle specie locali o per interventi di gestione mirati come l'eliminazione delle piante concorrenti (o invasive).

L'uso di strumenti che consentono un elevato livello di dettaglio (p. es. strumenti di modellizzazione fluviale 2D) e la crescente disponibilità di serie di dati ad alta risoluzione provenienti dal telerilevamento rappresentano una tendenza consolidata nella pratica e nel mondo accademico. Il modello combinato proposto si inserisce in questa tendenza, sfruttando i vantaggi della combinazione di strumenti di modellizzazione con diverse scale spaziali e temporali.

2.3.4 Limiti del modello combinato

Pur essendo utile per individuare l'habitat degli adulti e delle piantine per le specie bersaglio, il modello combinato comporta una maggiore complessità di modellizzazione a causa della differenza di scala spaziale (grande per il modello ecologico e piccola per il modello idrodinamico) e quindi della necessità di riadattare il modello (ridimensionamento, cfr. fig. 8). Il modello combinato non considera

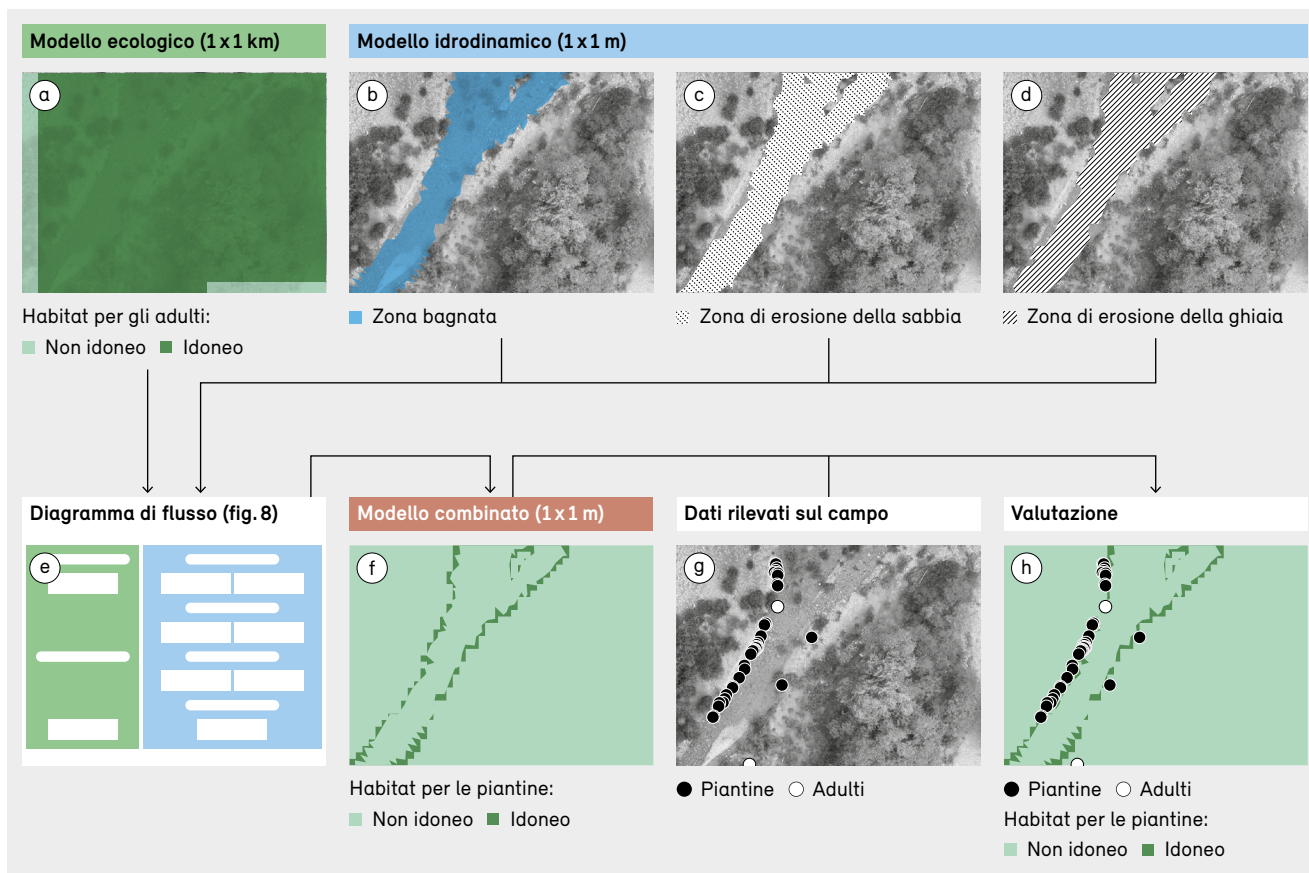
inoltre tutti i processi ambientali a cui è esposta una specie. Può però essere ulteriormente perfezionato, ad esempio tenendo conto delle interazioni tra la dinamica dei sedimenti e le piante (p. es. Caponi e Siviglia 2018). Inoltre, il flusso di lavoro proposto (fig. 8) richiede l'uso di una serie di strumenti (p. es. BASEMENT) e alcune competenze di scripting per l'elaborazione dei dati (p. es. in R o Python), poiché non è implementato in un unico strumento integrato. Il flusso di lavoro può tuttavia essere riprodotto completamente con strumenti gratuiti.

2.3.5 Estendibilità ad altri casi di studio e specie

Il modello combinato può essere adattato ad altri siti fluviali e ad altre specie. Non ci sono limitazioni in particolare per quanto riguarda il tipo o le dimensioni del tratto fluviale, purché sia valido l'approccio di modellazione 2D. Utilizzando BASEMENT è possibile riprodurre tutte le tipologie di regimi di deflusso (p. es. sia subcritico sia supercritico); di conseguenza, è possibile studiare sia i corsi d'acqua di pianura che quelli alpini.

Figura 10

Valutazione del modello combinato con dati raccolti sul campo di adulti di tamerice alpina e piantine in una sezione della zona golenale vicino a Cabbio (fotografia aerea dell'inverno 2020 in g). Le piantine erano presenti in aree identificate come idonee nel modello ecologico (area verde scuro in a), vicino alle linee di piena modellate (area blu in b) e al di fuori delle zone di erosione e deposito modellizzate (c: sabbia, d: ghiaia). Seguendo il flusso di lavoro per collegare i due modelli (e), la matrice di probabilità combinata (f) identifica i luoghi adatti all'insediamento delle piantine (aree verde scuro in f e h) e li combina con i dati raccolti sul campo (g) come mostrato nella valutazione (h).



Per applicare il modello combinato ad altri siti fluviali sono necessari il modello ecologico e il modello idrodinamico. Il modello ecologico è eseguito su scala nazionale e le informazioni disponibili per la tamerice alpina possono essere utilizzate per altri siti in Svizzera (Fink *et al.* 2017). L'onere di lavoro richiesto per il modello idrodinamico dipende dalla disponibilità di un modello digitale del terreno (DTM) di alta qualità, che può richiedere molto tempo per essere generato da zero. Considerando l'onere di lavoro, si consiglia di utilizzare questo approccio nei tratti particolarmente interessanti (qualche km), ma non su scala nazionale.

Dato che la tamerice alpina è una specie indicatrice della vegetazione pioniera nelle zone golenali (Delarze e Gonseth 2015), il risultato presentato può essere utilizzato anche per determinare l'habitat di specie con nicchie simili

(p. es. il salice *Salix daphnoides*) o di specie non vegetali nello stesso habitat (p. es. la falena *Istrianis myricariella*). La metodologia può anche essere adattata per modellizzare altri tipi di specie mobili, come pesci oppure coleotteri o ragni terrestri ripari (riquadro 5, cfr. anche cap. 3; Kowarik e Robinson 2023). In questo caso, il modello ecologico dovrebbe essere adattato per riflettere le specie bersaglio e il modello idrodinamico dovrebbe quantificare i parametri idraulici importanti per queste specie.

2.4 Uso nella pratica

Il modello combinato è uno strumento utile per valutare il potenziale di conservazione locale delle specie bersaglio attraverso il ringiovanimento naturale e la crescita

Riquadro 5: Nella pratica – prospettive applicative della modellizzazione degli habitat

Mauro Carolli, ricercatore presso SINTEF (Norvegia)

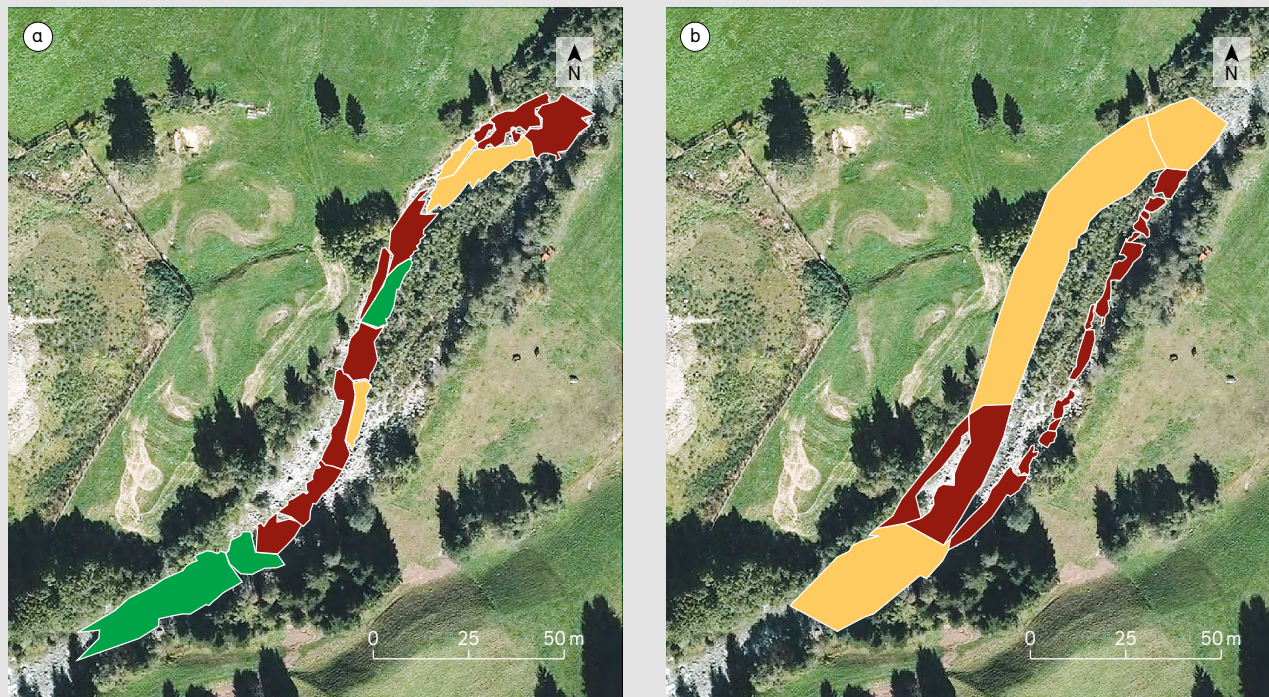
La modellizzazione degli habitat può essere estremamente utile per aiutare i professionisti e i decisori nella gestione dei sistemi fluviali. La modellizzazione degli habitat è stata applicata per quantificare i deflussi ambientali a valle dei prelievi idrici per le attività umane (p. es. per la produzione di energia idroelettrica). I deflussi minimi sono solitamente definiti utilizzando solo le relazioni idrologiche all'interno del bacino idrografico, mentre con la modellizzazione degli habitat possono essere considerati anche aspetti ecologici. Le linee guida emanate dall'Unione europea nel 2015 raccomandano l'uso di metodi di modellizzazione degli habitat per definire i deflussi ecologici per la direttiva quadro sulle acque.

In alcuni casi pilota di studio nelle Alpi italiane è stato utilizzato il metodo MesoHABSIM (Parasiewicz 2011) per definire i deflussi da un punto di vista più ecologico, conformemente alle linee guida dell'Unione europea. L'habitat è stato cartografato con diverse portate per tracciare una curva habitat-portata e valutare la qualità dell'habitat per le due principali specie locali, la trota fario (*Salmo trutta*, fig. 11) e la trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*). Sono state simulate diverse quantità di prelievo di acqua per uso umano e trasformate le serie

di dati di deflusso in serie di habitat, utilizzate in seguito per identificare le soglie ecologiche di deflusso al di sotto delle quali la qualità dell'habitat diminuisce rapidamente. La qualità dell'habitat è stata valutata sul campo a livello di tratto (10–1000 m), ma la modellizzazione idrodinamica può aiutare a estendere le valutazioni dell'habitat a una scala spaziale più ampia (bacino o sottobacino idrografico). La trasformazione delle serie di dati di deflusso in serie di habitat può anche essere calcolata a diverse scale temporali, a seconda della risoluzione dei dati di input. Ciò consente di valutare gli effetti ecologici dei fenomeni che possono influenzare la comunità fluviale da scale sub-giornaliere (p. es. i deflussi discontinui) a scale settimanali o mensili (p. es. le siccità estreme). La modellizzazione dell'habitat stabilisce un nesso diretto tra l'idrologia e la gestione delle acque da un lato e le biocenosi dei corsi d'acqua dall'altro. Può inoltre essere estesa per quantificare altri servizi ecosistemici, quando è possibile stabilire una relazione tra il deflusso (o altre variabili idrauliche) e l'utilizzo della risorsa idrica. Un esempio è la quantificazione dell'idoneità del fiume per la navigazione ricreativa (rafting, kayak) a valle delle centrali idroelettriche in diversi regimi di deflusso. Nel complesso, la modellizzazione dell'habitat è uno strumento prezioso per la gestione fluviale e racchiude un enorme potenziale per l'analisi di possibili compromessi e sinergie tra i diversi usi fluviali e le biocenosi.

Figura 11

Idoneità dell'habitat per la trota fario adulta (*Salmo trutta*) alla portata (Q) di $1,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (a) e $3,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (b). Torrente Vermigliana, Vermiglio (IT).



Trota fario adulta, $Q = 1,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

■ Ottimale ■ Idoneo ■ Non idoneo

Fonte: per gentile concessione del prof. G. Zolezzi (DICAM, Università di Trento, Italia)

Trota fario adulta, $Q = 3,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

■ Ottimale ■ Idoneo ■ Non idoneo

locale. La tamerice alpina, inserita nella Lista rossa, tende a subire la concorrenza dei salici, più comuni e a crescita più rapida, che rendono le condizioni di luce troppo ombrose per questa specie a crescita più lenta. Per la tamerice alpina, il ringiovanimento lungo le linee di piena, dove la concorrenza è bassa, è fondamentale e aiuta questa specie a sopravvivere nonostante la presenza di specie esotiche come l'invasivo arbusto delle farfalle (*Buddleja davidii*; Mörz 2017). La carta probabilistica dell'habitat delle piantine facilita l'analisi del potenziale di ringiovanimento nei siti soggetti all'impatto dell'energia idroelettrica. Può inoltre essere applicata per convalidare il successo della rivitalizzazione, confrontando il potenziale di habitat previsto per le aree rivitalizzate con le osservazioni di piantine già insediate.

Con i cambiamenti climatici è presumibile che le piene diventeranno più frequenti e si verificheranno in periodi diversi da quelli attuali. Previsioni più accurate e una comprensione più approfondita dei processi sono fondamentali per la

gestione dei corsi d'acqua in vista dei futuri cambiamenti ambientali. Con il modello combinato è possibile prevedere le condizioni future degli habitat tenendo conto delle variazioni di temperatura, precipitazioni e portata, migliorando la comprensione dell'evoluzione delle specie in un mondo in cambiamento.