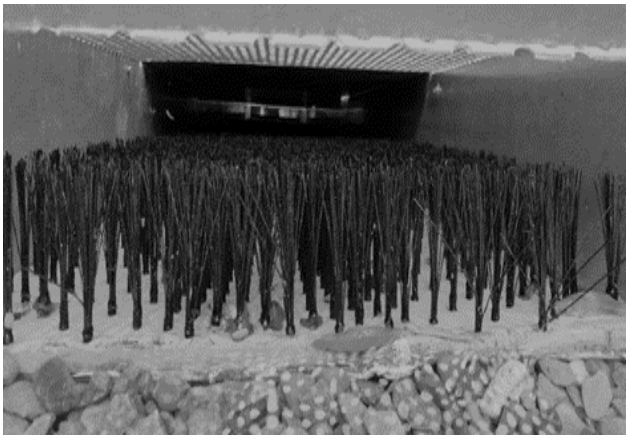
LIFEEL

LIFE19 NAT/IT/000851

Urgent measures in the Eastern Mediterranean for the long term conservation of endangered European eel (*Anguilla anguilla*)



DELIVERABLE

Action A.5

Plan of the priority interventions to restore river connectivity in the Po basin for eel conservation (ITALY)

Action Code	**A.5**
Action Title	Plans of the priority interventions to restore river connectivity for eel conservation and Guidelines for the compliance of hydro structures with downstream migration of silver eels
Document type	DELIVERABLE
Document title	Plan of the priority interventions to restore river connectivity in the Po basin for eel conservation (ITALY)
Date	15.03.2026
Authors	GRAIA
Action responsible	GRAIA

Page intentionally left empty

Abstract

This document presents the Plan of the Priority Interventions to Restore River Connectivity in the Po Basin for Eel conservation (Italy), developed within the framework of the LIFEEL project (LIFE19 NAT/IT/000851 – "Urgent measures in the Eastern Mediterranean for the long-term conservation of endangered European eel"). The Plan represents one of the main strategic outputs of Action A5 and is intended to provide a basin-scale technical framework for the progressive restoration of ecological connectivity for the European eel (*Anguilla anguilla*) within the Po River basin.

The Plan originates from the recognition that river fragmentation is currently one of the most significant limiting factors affecting the conservation status of the species in continental waters. The European eel requires functional longitudinal connectivity throughout its entire biological cycle: upstream migration of juvenile stages (glass eels and yellow eels) toward inland growth habitats, and downstream migration of silver eels returning to the sea for reproduction. Consequently, river continuity must be interpreted not only as a structural condition of the river network, but as a functional ecological requirement involving both migration directions.

The document builds upon the technical and methodological framework previously developed through the LIFE Con.Flu.Po project, which introduced a basin-scale approach based on the identification of a priority hydrographic network and the strategic classification of fragmentation nodes. LIFEEL updates and expands this approach through a species-specific interpretation focused exclusively on *Anguilla anguilla*, integrating new knowledge, monitoring results, GIS analyses and field investigations developed within Actions A3, A4 and A5 of the project.

A central component of the work is the development and use of a dedicated geodatabase containing information on river barriers, hydropower plants, hydraulic infrastructures and migration criticalities throughout the Po basin. The Plan uses this knowledge base to define a hierarchical priority network for eel conservation and to identify the most strategic fragmentation nodes affecting migration processes. The assessment is explicitly eel-specific: the classification of barriers as passable, partially passable or impassable is based on the biological and behavioural characteristics of the species, including swimming performance, climbing ability of juvenile stages and vulnerability during downstream migration.

The Plan adopts a basin-scale strategic perspective, aiming to maximize ecological effectiveness by concentrating interventions on the nodes capable of restoring the largest functional portions of the hydrographic network. The document therefore does not propose a generalized removal of barriers, but a selective and progressive reconnection strategy focused on corridors of highest ecological value.

Within this framework, LIFEEL is recognized as having already achieved a major ecological reconnection result through the restoration of upstream migration pathways along the Po di Volano–Navigabile–Valle Lepri–Burana system. These interventions reactivated one of the main historical colonization routes from the Adriatic Sea toward the inner Po basin, reopening more than 1,500 km of priority hydrographic network potentially accessible to the species. This network now includes several major pre-Alpine lake systems, among them Lake Maggiore, Lake Iseo and partially other connected systems that have become accessible through additional defragmentation actions carried out in recent years.

Starting from this updated scenario, **the Plan identifies two major strategic upstream reconnection corridors for future intervention:**

- **the Mincio–Lake Garda system (Priority Scenario 1);**
- **the Adda–Lake Como system (Priority Scenario 2).**

Priority Scenario 1 is analyzed in greater detail through the identification of five major critical fragmentation nodes along the Mincio River corridor. For these nodes, the Plan provides preliminary technical-functional assessments, including proposed mitigation typologies, expected ecological benefits and preliminary cost estimations. The objective is the progressive restoration of functional connectivity between the Adriatic Sea, the Po River and Lake Garda, one of the most important historical eel growth habitats within northern Italy.

The Plan also addresses downstream migration issues through a complementary approach. In this case, the primary objective is not the reopening of river continuity itself, but the reduction of mortality risks associated with hydropower infrastructures and water derivation systems affecting silver eel downstream migration. Building upon the results of Action A4 and the updated Guidelines for the Compliance of Hydro Structures with Downstream Migration of Silver Eels (A5.2), the Plan identifies three priority hydropower plants along the sublacustrine Adda River corridor as key sites requiring future mitigation measures:

- Pietro Rusca hydropower plant;
- Carlo Esterle hydropower plant;
- Angelo Bertini hydropower plant.

The Plan highlights the strategic role of behavioural deterrence systems, bypass structures, fish-friendly operational management and guidance technologies, with particular reference to the LIFEEL experimental case study carried out at Creva Dam, where a stroboscopic light deterrence system demonstrated significant effectiveness in reducing turbine passage risk for migrating silver eels.

Overall, the document concludes that eel conservation within the Po basin requires an integrated and adaptive long-term strategy combining:

- restoration of upstream accessibility;
- mitigation of downstream mortality;
- reconnection of major lake systems;
- compatibility improvements of hydropower infrastructures;
- progressive updating of the knowledge framework and geodatabase.

The Plan is therefore conceived not as a static inventory of interventions, but as a dynamic operational framework supporting future decision-making, river basin planning, concession renewal processes and ecological restoration strategies. Its ultimate objective is to provide a technically robust and scientifically coherent basis for the long-term restoration of functional ecological connectivity within the Po River basin, contributing to the conservation and recovery of the European eel at both national and broader European scale.

Sommario

1 INQUADRAMENTO E FINALITÀ DEL PIANO 7

1.1 CONTESTO DI PROGETTO 7

1.2 SIGNIFICATO STRATEGICO DELLA CONNETTIVITÀ FLUVIALE PER LA CONSERVAZIONE DELL'ANGUILLA 7

1.3 FINALITÀ E FUNZIONE DEL PIANO 8

1.4 AMBITO GEOGRAFICO E SCALA DI APPLICAZIONE 9

2 RUOLO DEL PIANO 10

2.1 RELAZIONE CON GLI INTERVENTI REALIZZATI DAL PROGETTO 10

2.2 RELAZIONE CON IL GEODATABASE SVILUPPATO NELL'AMBITO DELL'AZIONE A4 10

2.3 RELAZIONE CON LE LINEE GUIDA TECNICHE PER LA MIGRAZIONE DI VALLE 11

2.4 CAMPO DI APPLICAZIONE E LIMITI DEL PRESENTE DOCUMENTO 11

3 INQUADRAMENTO CONOSCITIVO E METODOLOGICO 13

3.1 BASE CONOSCITIVA DI RIFERIMENTO 13

3.2 APPROCCIO A SCALA DI BACINO E LOGICA DEL RETICOLO PRIORITARIO 13

3.3 CRITERI PER L'ANALISI DELLE FRAMMENTAZIONI 13

3.4 INTEGRAZIONE TRA RISALITA E DISCESA NEL MODELLO INTERPRETATIVO 14

3.5 IMPOSTAZIONE DELLA PRIORITIZZAZIONE 14

4 QUADRO DELLA FRAMMENTAZIONE DEL BACINO DEL PO 15

4.1 INQUADRAMENTO GENERALE DEL RETICOLO IDROGRAFICO 15

4.2 QUADRO STORICO DI RIFERIMENTO: IL CONTRIBUTO DEL PROGETTO LIFE CON.FLU.PO 15

4.3 TIPOLOGIE DI FRAMMENTAZIONE E LORO DISTRIBUZIONE 15

4.4 EFFETTI DELLE FRAMMENTAZIONI SULLA MIGRAZIONE DELL'ANGUILLA 16

4.5 VERSO UN AGGIORNAMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO 16

5 DEFINIZIONE DEL RETICOLO PRIORITARIO PER L'ANGUILLA 18

5.1 PRINCIPI GENERALI 18

5.2 CRITERI DI SELEZIONE DEGLI ASSI PRIORITARI 18

5.3 STRUTTURA GERARCHICA DEL RETICOLO 19

5.4 INTEGRAZIONE DELLE DUE DIREZIONI MIGRATORIE 19

5.5 RELAZIONE CON IL GEODATABASE E STRUMENTI GIS 19

5.6 ESITI DELLA SELEZIONE DEL RETICOLO PRIORITARIO 20

6 INDIVIDUAZIONE E GERARCHIZZAZIONE DEI NODI CRITICI PER LA RISALITA 22

6.1 DEFINIZIONE DI NODO CRITICO 22

6.2 DEFINIZIONE DI NODO PER LA MIGRAZIONE IN RISALITA 22

6.3 IDENTIFICAZIONE DEI NODI CRITICI 23

6.4 PARAMETRI DI VALUTAZIONE DELLA CRITICITÀ 24

6.5 LOGICA DI GERARCHIZZAZIONE 25

6.6 STATO ATTUALE DELLA CONTINUITÀ DEL RETICOLO PRIORITARIO 25

6.7 DIRETTRICI PRIORITARIE DI RICONNESSIONE 26
6.7.1 Scenario prioritario 1 – Riconnessione del sistema Mincio–Lago di Garda: studio preliminare di deframmentazione dei primi 5 nodi critici per la migrazione in risalita dell'anguilla 28
7 INDIVIDUAZIONE E GERARCHIZZAZIONE DEI NODI CRITICI PER LA DISCESA 38
7.1 OBIETTIVO DELLA PRIORITIZZAZIONE 38
7.2 DEFINIZIONE DI NODO CRITICO PER LA MIGRAZIONE DI DISCESA 38
7.3 BASE CONOSCITIVA E IDENTIFICAZIONE DEI NODI 38
7.4 PARAMETRI DI VALUTAZIONE DELLA CRITICITÀ 39
7.5 LOGICA DI GERARCHIZZAZIONE 39
7.6 NODI PRIORITARI INDIVIDUATI 40
7.6.1 Nodo prioritario 1 – Centrale idroelettrica Pietro Rusca, Cassano d'Adda 40
7.6.2 Nodo prioritario 2 – Centrale Carlo Esterle, Cornate d'Adda 41
7.6.3 Nodo prioritario 3 – Centrale Angelo Bertini, Paderno d'Adda 41
7.7 INDICAZIONI TECNICHE PRELIMINARI 42
7.8 INTEGRAZIONE CON LE FUTURE FASI ATTUATIVE 42
8 CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE 44
9 ELABORATI TECNICI DI RIFERIMENTO 46

Premessa

Il presente documento si inserisce nel quadro delle azioni previste dal progetto LIFEEL – "*Urgent measures in the Eastern Mediterranean for the long term conservation of endangered European eel*" e costituisce il Piano delle priorità di intervento per il ripristino della connettività fluviale ai fini della conservazione dell'Anguilla europea nel bacino del fiume Po. In coerenza con l'Azione A.5 del progetto, il Piano è concepito come uno strumento di indirizzo e programmazione volto a estendere nel tempo e nello spazio gli effetti delle azioni dimostrative e progettuali sviluppate da LIFEEL, orientando le future scelte di deframmentazione, mitigazione e adeguamento delle opere idrauliche entro una visione di bacino e di lungo periodo.

L'impostazione del Piano muove dalla consapevolezza che la conservazione dell'Anguilla europea richiede il ripristino della continuità ecologica fluviale lungo l'intero ciclo biologico della specie. Nel bacino del Po, infatti, la frammentazione del reticolo idrografico incide sia sulla migrazione verso monte delle forme giovanili, che devono raggiungere gli ambienti idonei all'accrescimento, sia sulla migrazione verso valle delle anguille argentine, che devono poter discendere i corsi d'acqua e raggiungere il mare in condizioni di sicurezza per completare la riproduzione. Lo stesso impianto del progetto LIFEEL distingue chiaramente queste due esigenze conservazionistiche, affrontandole in modo complementare: da un lato la riapertura del corridoio ecologico per la risalita, dall'altro la riduzione dei rischi e della mortalità associati agli impianti e alle altre opere trasversali durante la discesa riproduttiva.

Per questa ragione il presente Piano, pur mantenendo un baricentro operativo nel ripristino della connettività funzionale alla risalita e nella definizione delle priorità di deframmentazione del corridoio fluviale, assume esplicitamente una prospettiva più ampia, coerente con gli obiettivi dell'Azione A.5.1 del presente progetto LIFE, che richiede una valutazione complessiva delle ostruzioni alla migrazione dell'anguilla nel contesto di bacino, considerando sia i problemi di risalita sia quelli di discesa. In tale ottica, la pianificazione degli interventi non riguarda soltanto la realizzazione di passaggi per anguille e pesci, ma anche l'individuazione dei nodi in cui risultano necessari sistemi di deterrenza, guida o altre misure di mitigazione utili a rendere compatibili le opere esistenti con il transito sicuro delle anguille argentine.

Il Piano si fonda inoltre su un patrimonio conoscitivo e metodologico preesistente, che LIFEEL riprende, aggiorna e specializza sulla specie target. In particolare, per la componente relativa alla deframmentazione del bacino del Po, esso si collega direttamente all'esperienza maturata con il progetto LIFE Con.Flu.Po, nell'ambito del quale era stato elaborato uno studio per la deframmentazione del bacino idrografico del fiume Po basato sull'individuazione di un reticolo idrografico prioritario e sulla caratterizzazione progressiva delle principali impercorribilità trasversali. Quel lavoro, nato per la conservazione di più specie ittiche migratrici e potamodrome, costituisce ancora oggi un riferimento metodologico essenziale, sia per l'impostazione a scala di bacino, sia per il criterio secondo cui la programmazione degli interventi deve concentrarsi sui tronchi fluviali e sui nodi che, se riaperti o mitigati, consentono il massimo beneficio ecologico in termini di percorribilità, ricolonizzazione e continuità longitudinale.

Rispetto a tale antecedente, il presente Piano introduce però, come detto, un focus specifico sull'Anguilla europea, specie catadroma il cui ciclo vitale impone una lettura più articolata della connettività fluviale. Non si tratta quindi soltanto di selezionare le frammentazioni che ostacolano la colonizzazione degli habitat di accrescimento da parte delle giovani anguille, ma anche di riconoscere e valutare, entro il medesimo corridoio prioritario di conservazione, le strutture che possono ostacolare o rendere rischiosa la successiva

migrazione di discesa delle argentine. Ne deriva una nozione di continuità fluviale non limitata alla sola riapertura fisica verso monte, ma intesa come condizione funzionale complessiva del sistema, da perseguire attraverso una combinazione coerente di interventi di passaggio, adeguamento, mitigazione e gestione.

In questo senso, il Piano non si configura come un elenco statico di opere, ma come uno strumento strategico per orientare le priorità di intervento al 2026 e oltre, sulla base delle conoscenze disponibili, del quadro aggiornato delle presenze della specie, dello stato delle frammentazioni, delle caratteristiche ambientali e tecniche dei siti e del rapporto tra costi, fattibilità e benefici attesi per la conservazione. Esso intende quindi fornire una base tecnica condivisa per le future decisioni di programmazione, per il confronto con gli enti competenti e i concessionari delle opere idrauliche e per l'eventuale prosecuzione, oltre LIFEEL, di un percorso di ripristino progressivo della continuità ecologica del bacino del Po a favore dell'Anguilla europea.

1 Inquadramento e finalità del Piano

1.1 Contesto di progetto

Il presente Piano costituisce uno dei principali strumenti di sistematizzazione e proiezione strategica dei risultati maturati nel corso del progetto LIFEEL. In particolare, esso si colloca nel quadro dell'Azione A.5, dedicata alla definizione di criteri, priorità e indirizzi per il ripristino della continuità fluviale e per l'individuazione degli interventi più efficaci a favore dell'Anguilla europea nel bacino del fiume Po.

LIFEEL nasce in risposta alla condizione di grave criticità che interessa la specie. L'Anguilla europea (*Anguilla anguilla*), specie catadroma dal ciclo biologico complesso e altamente vulnerabile, ha subito negli ultimi decenni un drastico declino, imputabile a una pluralità di fattori concomitanti: alterazione e perdita di habitat, frammentazione longitudinale dei corsi d'acqua, mortalità presso impianti e sbarramenti, sfruttamento, cambiamenti climatici, inquinamento e diffusione di patogeni e specie alloctone. In questo scenario, il bacino del Po rappresenta un contesto di particolare rilevanza, sia per l'estensione del reticolo idrografico potenzialmente disponibile per la specie, sia per la presenza di diffuse interruzioni della continuità ecologica che limitano in modo marcato la funzionalità migratoria del sistema.

Il progetto affronta tale quadro con un approccio integrato, combinando acquisizione di conoscenze, sperimentazione tecnica, realizzazione di interventi dimostrativi e definizione di strumenti utili a orientare la programmazione futura. Il presente Piano si inserisce quindi in questa logica come prodotto di sintesi e di indirizzo, destinato a consolidare in una prospettiva di medio-lungo termine le evidenze acquisite e a tradurle in un quadro ragionato di priorità di azione.

Un elemento rilevante del contesto progettuale è rappresentato anche dalla continuità con precedenti esperienze sviluppate nel medesimo ambito territoriale e in particolare con il lavoro condotto nel progetto LIFE Con.Flu.Po, che aveva già affrontato il tema della deframmentazione del bacino del Po secondo una logica di reticolo prioritario e di selezione strategica dei nodi più rilevanti. Il Piano riprende tale impostazione metodologica e la aggiorna alla luce del focus specifico su *Anguilla anguilla*, delle conoscenze prodotte da LIFEEL e dell'esigenza di interpretare la connettività in relazione all'intero ciclo migratorio della specie.

1.2 Significato strategico della connettività fluviale per la conservazione dell'anguilla

Per l'Anguilla europea la connettività fluviale non rappresenta una semplice caratteristica desiderabile del sistema idrografico, ma una condizione essenziale di sopravvivenza e di completamento del ciclo vitale. La specie compie infatti migrazioni in due direzioni lungo il *continuum* acqua dolce–mare: la risalita verso gli ambienti continentali da parte delle forme giovanili, dirette agli habitat di accrescimento, e la successiva discesa verso il mare da parte delle anguille argentine, che devono raggiungere l'oceano per la riproduzione. In presenza di opere trasversali non superabili o superabili solo parzialmente, questo ciclo viene interrotto o reso inefficiente. Le barriere ostacolano la colonizzazione degli habitat interni, limitano l'accesso alle aree di crescita, frammentano la distribuzione della specie e riducono l'estensione effettivamente disponibile del reticolo fluviale. Allo stesso tempo, durante la migrazione di discesa, gli stessi nodi possono determinare

ritardi, deviazioni, aumento dello stress e mortalità diretta, in particolare laddove la presenza di derivazioni, impianti idroelettrici o altre infrastrutture interferisce con il transito verso valle.
Per queste ragioni la continuità fluviale, nel caso dell'Anguilla, deve essere letta in termini funzionali e non soltanto strutturali. Non basta che un corso d'acqua presenti una continuità teorica o locale: è necessario che esso consenta, lungo tratte significative e in corrispondenza dei principali nodi critici, una percorribilità effettiva nelle due direzioni migratorie, con livelli di rischio compatibili con gli obiettivi di conservazione della specie. In questa prospettiva, la connettività assume un significato strategico perché incide direttamente sulla disponibilità di habitat, sulla capacità di ricolonizzazione, sulla sopravvivenza individuale e, più in generale, sul contributo che il bacino del Po può offrire al recupero dell'intero *stock* di Anguilla europea.
Il tema assume inoltre una valenza pianificatoria più ampia. **Intervenire sulla connettività significa infatti orientare risorse limitate verso i nodi che producono i maggiori benefici ecologici, integrando obiettivi di conservazione, fattibilità tecnica, compatibilità gestionale e possibilità di attuazione progressiva. In questo senso, la connettività fluviale è al tempo stesso un obiettivo ecologico e un criterio guida per la definizione delle priorità.**

1.3 Finalità e funzione del Piano

Il presente Piano ha la finalità di definire un quadro organico di riferimento per l'individuazione e la gerarchizzazione degli interventi necessari a migliorare la continuità fluviale nel bacino del Po a favore dell'Anguilla europea. Con esso si intende costruire uno strumento tecnico-strategico capace di orientare le scelte future, sulla base di criteri trasparenti, coerenti e replicabili.
La funzione del Piano è duplice. Da un lato esso sistematizza e interpreta le conoscenze disponibili, integrando i risultati del progetto LIFEEL con il quadro pregresso delle informazioni sul reticolo idrografico, sulle opere trasversali e sulla distribuzione della specie. Dall'altro lato, esso traduce tale base conoscitiva in un sistema di priorità utile a supportare decisioni operative, programmazione di investimenti, confronto con enti gestori e concessionari e sviluppo di successive azioni di progettazione o attuazione.
Nel merito, il Piano considera sia la migrazione di risalita sia quella di discesa. Ciò significa che la valutazione delle priorità non riguarda esclusivamente la necessità di rendere nuovamente accessibili gli habitat di accrescimento, ma anche l'esigenza di ridurre i fattori di rischio lungo il percorso di ritorno verso il mare. Di conseguenza, tra gli interventi rilevanti ai fini del Piano rientrano non solo i passaggi per pesci e per anguille, ma anche misure di mitigazione e accompagnamento quali sistemi di guida, deterrenza, esclusione o altre soluzioni tecniche atte a limitare la mortalità o a migliorare l'instradamento migratorio presso i nodi critici.
Il Piano non ha natura descrittiva né carattere prescrittivo in senso stretto. Esso svolge piuttosto una funzione di indirizzo e supporto alle decisioni, offrendo una base argomentata per stabilire dove intervenire prima, con quali obiettivi funzionali e secondo quali criteri di efficacia ecologica. In questa ottica, il documento è concepito anche come riferimento dinamico, suscettibile di aggiornamento in relazione all'evoluzione delle conoscenze, allo stato degli interventi e al mutare delle condizioni di contesto.

1.4 Ambito geografico e scala di applicazione

L'ambito geografico del Piano è costituito dal bacino idrografico del fiume Po, inteso come sistema fluviale di riferimento per la conservazione dell'Anguilla europea nell'area di progetto. Tale ambito comprende il reticolo principale e secondario potenzialmente rilevante per la specie, con particolare attenzione ai corsi d'acqua che svolgono o possono svolgere una funzione significativa come corridoi migratori, aree di accrescimento o tratte di connessione tra nodi ecologicamente strategici.

La scala di applicazione del Piano è quella del bacino, poiché solo una lettura ampia e gerarchica del sistema consente di cogliere il reale significato delle frammentazioni e di valutarne gli effetti cumulativi. Un ostacolo, infatti, non assume importanza solo per le sue caratteristiche intrinseche, ma per la posizione che occupa all'interno del reticolo, per l'estensione di habitat che rende accessibile o inaccessibile, per il numero di barriere che lo precedono o seguono e per il ruolo che svolge nelle due direzioni migratorie della specie.

All'interno di questa visione di insieme, il Piano mantiene comunque la capacità di scendere a una scala di maggiore dettaglio, focalizzandosi sui singoli nodi e sulle tratte prioritarie per valutarne criticità, opportunità di intervento e possibili soluzioni tecniche. La scala di bacino e la scala di sito non sono quindi alternative, ma strettamente integrate: la prima consente di definire le priorità strategiche, la seconda di verificarne la praticabilità e l'efficacia concreta.

In termini applicativi, ciò significa che il Piano è pensato per essere utilizzato sia come riferimento generale per la programmazione delle future azioni di deframmentazione e mitigazione, sia come base tecnica per l'approfondimento di specifici interventi in corrispondenza delle opere ritenute prioritarie. La sua efficacia dipende pertanto dalla capacità di mantenere insieme la lettura sistemica del bacino e l'attenzione alle condizioni locali che determinano la fattibilità e il rendimento degli interventi.

2 Ruolo del Piano

2.1 Relazione con gli interventi realizzati dal progetto

Il presente Piano si colloca all'interno del sistema dei prodotti elaborati dal progetto LIFEEL come documento di raccordo, consolidamento e indirizzo. Il suo ruolo non è quello di descrivere nuovamente in modo analitico gli interventi realizzati, né di sostituirsi ai deliverable tecnici specificamente dedicati alla progettazione, alla realizzazione o al monitoraggio delle singole azioni, ma di raccoglierne gli esiti e tradurli in una prospettiva di scala più ampia, orientata alla programmazione futura.

Nel corso del progetto, LIFEEL ha infatti affrontato il tema della connettività fluviale dell'Anguilla con una logica progressiva e complementare. Da un lato, sono stati realizzati interventi concreti e dimostrativi volti a migliorare la percorribilità del reticolo fluviale e a sperimentare soluzioni applicabili in contesti reali; dall'altro, sono stati sviluppati strumenti conoscitivi e tecnici capaci di supportare una visione più estesa e durevole del problema. In questo quadro, il Piano assume la funzione di mettere a sistema tali risultati, evidenziando come le esperienze maturate nel progetto possano essere utilizzate per definire priorità di intervento a scala di bacino e per orientare azioni ulteriori oltre la durata del progetto stesso.

La relazione con gli interventi realizzati è pertanto diretta. Gli interventi dimostrativi rappresentano per il Piano una base di esperienza concreta, utile a verificare la praticabilità di alcune soluzioni e a rafforzare il collegamento tra analisi delle criticità e possibili modalità di risposta. Essi mostrano che la deframmentazione e la mitigazione non sono soltanto obiettivi teorici, ma possono tradursi in azioni effettive, purché inserite in un disegno coerente di priorità.

2.2 Relazione con il geodatabase sviluppato nell'ambito dell'Azione A4

Tra i principali prodotti di supporto al presente Piano assume particolare rilievo il geodatabase sviluppato nell'ambito dell'Azione A4. Tale strumento costituisce una base conoscitiva strutturata e georiferita, costruita per raccogliere e organizzare informazioni utili alla lettura della permeabilità del bacino del Po rispetto alla migrazione dell'anguilla, con particolare riferimento ai nodi interferenti, alle opere idrauliche e alle principali criticità che interessano il reticolo.

Nel sistema dei prodotti LIFEEL, il geodatabase svolge una funzione di repository tecnico e informativo, mentre il presente Piano ne rappresenta una possibile traduzione selettiva e interpretativa. In altri termini, il Piano non coincide con il geodatabase, né intende riportarne integralmente i contenuti; esso utilizza invece la struttura informativa, la logica di organizzazione dei dati e gli elementi territoriali in esso contenuti per supportare il processo di definizione delle priorità.

La relazione tra i due strumenti è dunque di tipo funzionale. Il geodatabase consente di localizzare e descrivere le criticità, di collegarle a un contesto territoriale e di renderle interrogabili secondo attributi coerenti; il Piano, a partire da tale base, le legge in termini di significato ecologico, strategicità di corridoio, fattibilità e opportunità di intervento. In questo senso, il geodatabase fornisce il supporto informativo

necessario affinché il Piano possa fondarsi su elementi oggettivabili e verificabili, mentre il Piano restituisce al geodatabase una funzione applicativa e decisionale.

Va inoltre precisato che il **geodatabase**, per sua natura, è uno **strumento dinamico**, suscettibile di integrazione, aggiornamento e affinamento nel tempo. Anche per questa ragione il presente documento non ne propone una restituzione esaustiva, ma ne assume i contenuti come base tecnica di riferimento, da valorizzare in forma selettiva in relazione agli obiettivi specifici di prioritizzazione propri dell'Azione A5.1.

2.3 Relazione con le linee guida tecniche per la migrazione di valle

Il Piano si pone in rapporto stretto anche con le **linee guida tecniche sviluppate dal progetto in materia di compatibilità delle opere idrauliche con la migrazione di valle delle anguille argentine**. Tali linee guida costituiscono infatti il riferimento specialistico per l'analisi delle criticità e delle soluzioni relative alla fase di discesa verso il mare, con particolare attenzione ai rischi connessi alla presenza di derivazioni, turbine, impianti idroelettrici e altre strutture potenzialmente causa di mortalità o disorientamento.
Nel sistema dei prodotti LIFEEL, le linee guida e il presente Piano si collocano su due piani distinti ma strettamente complementari. Le linee guida hanno una funzione eminentemente tecnica e applicativa: definiscono criteri, cautele, soluzioni e indirizzi operativi per rendere le opere più compatibili con la migrazione di valle. Il Piano, invece, ha una funzione selettiva e programmatoria: individua i nodi e gli ambiti in cui tali criticità assumono maggiore rilevanza dal punto di vista della conservazione della specie, integrandole all'interno di una lettura complessiva della connettività di bacino.
Ne consegue che il Piano non entra nel dettaglio ingegneristico delle soluzioni già sviluppate nelle linee guida, né ne riprende diffusamente i contenuti tecnici. Quando la valutazione delle priorità evidenzia che un determinato nodo critico presenta problemi rilevanti per la migrazione di valle, il Piano richiama il ruolo delle linee guida come riferimento tecnico di approfondimento e come supporto alla successiva definizione delle misure di mitigazione più appropriate. Il rapporto tra i due documenti è quindi di integrazione reciproca: il Piano individua dove è prioritario agire; le linee guida aiutano a definire come farlo, in particolare per la componente della migrazione di discesa.

2.4 Campo di applicazione e limiti del presente documento

Il presente Piano ha come campo di applicazione il bacino del fiume Po, con riferimento agli interventi e alle misure utili a migliorare la continuità fluviale a favore dell'anguilla europea nelle due direzioni migratorie considerate rilevanti per la specie. In questo senso, esso si applica alla lettura delle frammentazioni, alla valutazione della loro rilevanza ecologica e alla definizione di priorità di intervento che possano orientare la programmazione futura a scala di bacino e di sottobacino.
Il documento non ha tuttavia carattere progettuale di dettaglio, né valore prescrittivo diretto. Le indicazioni in esso contenute devono essere intese come indirizzi tecnico-strategici fondati sulle conoscenze disponibili al momento della redazione, e richiedono, nei casi di concreta attuazione, successivi livelli di approfondimento tecnico, idraulico, ambientale, amministrativo ed economico. In particolare, la definizione delle soluzioni puntuali per i singoli siti richiederà rilievi di campo, verifiche di fattibilità, confronto con i gestori, analisi del regime idraulico e, ove necessario, specifica progettazione.

Un ulteriore limite del documento risiede nel fatto che il quadro delle conoscenze sullo stato di permeabilità del bacino e sulla distribuzione della specie è in continua evoluzione. Alcune informazioni possono risultare parziali, eterogenee o non omogeneamente aggiornate sull'intero reticolo; per tale motivo il Piano deve essere considerato come uno strumento progressivo, suscettibile di aggiornamento e perfezionamento. Tale carattere non ne indebolisce la funzione, ma ne definisce correttamente la natura: non un quadro statico e definitivo, bensì una base strutturata per orientare in modo razionale, motivato e trasparente le decisioni in materia di continuità fluviale per l'anguilla nel bacino del Po.

Infine, il Piano non affronta in modo estensivo tutte le altre pressioni che interessano la specie e che pure concorrono al suo stato di conservazione, quali qualità dell'acqua, disponibilità di habitat, pesca, patologie, predazione o cambiamenti climatici. Tali fattori rappresentano elementi di contesto rilevanti, ma esulano dall'oggetto principale del presente documento, che resta specificamente centrato sulla continuità fluviale e sulla definizione delle priorità di intervento in relazione alla frammentazione del reticolo e ai rischi connessi alle opere trasversali.

3 Inquadramento conoscitivo e metodologico

3.1 Base conoscitiva di riferimento

Il presente Piano si fonda su un sistema articolato di conoscenze sviluppate nell'ambito del progetto LIFEEL e integrate con contributi pregressi e fonti esterne. La base conoscitiva di riferimento comprende, in particolare: i risultati delle azioni progettuali dedicate alla raccolta e sistematizzazione dei dati (A3 e A4), il geodatabase sviluppato per la caratterizzazione delle criticità del reticolo fluviale, gli esiti delle attività di monitoraggio e sperimentazione, nonché studi precedenti relativi alla frammentazione del bacino del Po.

Un riferimento metodologico fondamentale è rappresentato dal lavoro svolto nel progetto LIFE Con.Flu.Po, che ha introdotto un approccio a scala di bacino basato sull'individuazione di un reticolo idrografico prioritario e sulla valutazione strategica delle discontinuità longitudinali. Tale impostazione è stata ripresa e adattata nel presente Piano, con un focus specifico sull'anguilla europea e sulle sue esigenze ecologiche.

A questa base si aggiungono le conoscenze relative alla distribuzione della specie, alla qualità degli habitat, alle caratteristiche idromorfologiche dei corsi d'acqua e alla presenza e tipologia delle opere trasversali. L'integrazione di queste informazioni consente di costruire un quadro coerente e multilivello, necessario per supportare la successiva fase di prioritizzazione degli interventi.

3.2 Approccio a scala di bacino e logica del reticolo prioritario

Il Piano adotta un approccio a scala di bacino, ritenuto indispensabile per interpretare correttamente il significato ecologico delle frammentazioni fluviali. In questa prospettiva, il reticolo idrografico non viene considerato come un insieme di elementi isolati, ma come un sistema gerarchico e interconnesso, all'interno del quale ogni ostacolo assume un ruolo diverso in funzione della sua posizione e delle relazioni con il contesto.

La logica del reticolo prioritario rappresenta uno degli elementi chiave di questo approccio. Essa consiste nell'individuazione di assi fluviali e sottosistemi che rivestono un ruolo strategico per la migrazione e la distribuzione della specie, e sui quali concentrare in via preferenziale gli interventi di deframmentazione e mitigazione.

Questo criterio consente di massimizzare l'efficacia delle azioni, evitando una dispersione degli sforzi e orientando le risorse verso quei nodi che, se resi permeabili, consentono di riattivare porzioni significative del reticolo fluviale e di ampliare in modo sostanziale gli habitat accessibili.

3.3 Criteri per l'analisi delle frammentazioni

L'analisi delle frammentazioni si basa su una serie di criteri che tengono conto sia delle caratteristiche delle opere sia del loro significato ecologico. Tra i principali elementi considerati rientrano: la tipologia dell'ostacolo (diga, traversa, sbarramento, derivazione, ecc.), l'altezza e le caratteristiche costruttive, la presenza o assenza di dispositivi di passaggio, il contesto idromorfologico e il ruolo dell'opera all'interno del reticolo.

A questi aspetti si aggiungono considerazioni relative alla percorribilità effettiva per l'anguilla nelle diverse fasi del ciclo vitale, distinguendo tra migrazione di risalita e migrazione di discesa. In particolare, viene valutata la capacità delle opere di consentire o impedire il passaggio verso monte delle forme giovanili e, al contempo, il grado di rischio associato al transito verso valle delle anguille argentine.

L'analisi non si limita quindi a una classificazione statica delle opere, ma mira a comprenderne la funzione all'interno del sistema fluviale e il loro impatto complessivo sulla connettività.

3.4 Integrazione tra risalita e discesa nel modello interpretativo

Uno degli elementi qualificanti del presente Piano è l'integrazione, all'interno di un unico quadro interpretativo, delle due principali direzioni migratorie dell'anguilla. Tradizionalmente, infatti, gli interventi sulla connettività fluviale sono stati spesso orientati prevalentemente alla risalita, mentre la migrazione di discesa è stata affrontata in modo separato o secondario.

Nel caso dell'anguilla europea, tale distinzione risulta limitante. La piena funzionalità del ciclo biologico richiede infatti che entrambe le fasi migratorie siano garantite lungo lo stesso sistema fluviale. Di conseguenza, il Piano considera le frammentazioni non solo in termini di ostacolo alla colonizzazione degli habitat, ma anche in relazione ai rischi che esse comportano nella fase di ritorno verso il mare.

Questa integrazione si traduce, dal punto di vista metodologico, nella necessità di valutare ogni nodo critico secondo una duplice prospettiva: come barriera alla risalita e come potenziale fonte di impatto sulla discesa. Tale approccio consente di costruire un modello interpretativo più completo e di orientare le scelte verso soluzioni che migliorino la connettività complessiva del sistema, evitando effetti controproducenti o parziali.

3.5 Impostazione della prioritizzazione

Sulla base del quadro conoscitivo e dei criteri di analisi sopra descritti, il Piano definisce un'impostazione per la prioritizzazione degli interventi. Tale impostazione tiene conto di una pluralità di fattori, tra cui: il beneficio ecologico atteso in termini di aumento della connettività, l'estensione di habitat resi accessibili, la posizione del nodo nel reticolo, la fattibilità tecnica degli interventi, i costi indicativi e le possibili sinergie con altre azioni o programmi.

La prioritizzazione non è quindi il risultato di un singolo parametro, ma di una valutazione integrata che combina elementi quantitativi e qualitativi. L'obiettivo è individuare un insieme di interventi che, nel loro complesso, consentano di ottenere il massimo miglioramento della funzionalità del sistema fluviale rispetto alle esigenze della specie.

In questa fase, il Piano non entra nel dettaglio progettuale delle soluzioni, ma definisce un quadro di riferimento utile a guidare le scelte e a indirizzare gli approfondimenti successivi. La prioritizzazione rappresenta dunque il passaggio chiave tra conoscenza e azione, traducendo il quadro analitico in indicazioni operative per la conservazione dell'anguilla nel bacino del Po.

4 Quadro della frammentazione del bacino del Po

4.1 Inquadramento generale del reticolo idrografico

Il bacino del fiume Po rappresenta il principale sistema idrografico italiano e costituisce un contesto di primaria importanza per la conservazione dell'anguilla europea. La sua estensione, la varietà di ambienti fluviali e la presenza di una fitta rete di corsi d'acqua principali e secondari offrono, in linea teorica, un'elevata disponibilità di habitat idonei all'accrescimento della specie.

Tuttavia, questa potenzialità è fortemente condizionata dal grado di continuità longitudinale del reticolo. Il sistema fluviale è infatti caratterizzato da una diffusa presenza di opere trasversali – dighe, traverse, sbarramenti, opere di presa e regolazione – che ne interrompono la percorribilità e ne frammentano la struttura funzionale.

Per comprendere il significato di tali frammentazioni è necessario adottare una lettura sistemica del reticolo, che consideri non solo la distribuzione delle opere, ma anche la loro posizione rispetto ai principali assi fluviali, alle aree di potenziale habitat e alle connessioni tra sottobacini.

4.2 Quadro storico di riferimento: il contributo del progetto LIFE Con.Flu.Po

Un primo quadro organico della frammentazione del bacino del Po è stato elaborato nell'ambito del progetto LIFE Con.Flu.Po, che ha sviluppato uno studio specifico finalizzato alla deframmentazione del sistema fluviale.

Tale studio ha rappresentato un passaggio fondamentale nell'evoluzione delle conoscenze, introducendo un approccio a scala di bacino basato sull'individuazione di un reticolo idrografico prioritario e sulla mappatura delle principali discontinuità longitudinali. In particolare, sono stati identificati i nodi critici che interrompono la continuità del sistema e ne è stato valutato il ruolo in termini di accessibilità degli habitat e di connessione tra i diversi tratti fluviali.

Il lavoro di Con.Flu.Po ha consentito di:

- costruire una base cartografica e informativa delle principali opere interferenti;
- individuare gli assi fluviali di maggiore rilevanza per la connettività;
- introdurre criteri di selezione e gerarchizzazione degli interventi;
- evidenziare il rapporto tra posizione dell'ostacolo e beneficio ecologico potenziale derivante dalla sua rimozione o mitigazione.

Pur essendo stato sviluppato con riferimento a più specie ittiche, questo approccio si è dimostrato pienamente applicabile anche al caso dell'anguilla, offrendo un riferimento metodologico ancora valido per la lettura del sistema.

4.3 Tipologie di frammentazione e loro distribuzione

Le frammentazioni presenti nel bacino del Po possono essere ricondotte a diverse tipologie di opere, che differiscono per caratteristiche tecniche, modalità di funzionamento e grado di interferenza con la migrazione dell'anguilla.

Tra le principali categorie si possono distinguere:

- grandi dighe e sbarramenti di regolazione;
- traverse fluviali e briglie;
- opere di derivazione a scopo irriguo o idroelettrico;
- sistemi complessi associati a impianti idroelettrici, comprensivi di canali di derivazione e restituzione.

La distribuzione di tali opere non è omogenea. In alcuni tratti del reticolo, in particolare lungo gli assi principali e nei settori pedemontani, si osserva una maggiore concentrazione di barriere, con effetti cumulativi rilevanti sulla percorribilità. In altri contesti, soprattutto nei tratti di pianura e nei corsi d'acqua secondari, le frammentazioni sono più diffuse ma spesso di minore dimensione, pur mantenendo un impatto significativo in relazione alla capacità di superamento da parte della specie.

La combinazione di numero, tipologia e posizione delle opere determina un quadro complesso, nel quale la continuità fluviale risulta compromessa in modo variabile lungo il reticolo.

4.4 Effetti delle frammentazioni sulla migrazione dell'anguilla

Le frammentazioni esercitano effetti differenziati sulle due principali fasi migratorie dell'anguilla.

Per quanto riguarda la migrazione di risalita, le opere trasversali possono costituire barriere totali o parziali, impedendo o limitando l'accesso agli habitat di accrescimento. Ciò comporta una riduzione dell'area effettivamente colonizzabile e una frammentazione della distribuzione della specie, con possibili effetti sulla dinamica di popolazione.

Per la migrazione di discesa, le stesse opere possono rappresentare elementi di rischio, determinando ritardi, deviazioni dei percorsi migratori o mortalità diretta, in particolare in presenza di impianti idroelettrici e sistemi di derivazione. In questi casi, la mancanza di dispositivi di guida o di esclusione può favorire l'ingresso degli individui in circuiti non idonei, aumentando significativamente il rischio di impatto.

Nel complesso, le frammentazioni non agiscono come elementi isolati, ma come componenti di un sistema che può amplificare gli effetti lungo l'intero corridoio fluviale. La presenza di più ostacoli in sequenza può infatti compromettere in modo sostanziale la funzionalità migratoria, anche quando le singole opere presentano caratteristiche solo parzialmente limitanti.

4.5 Verso un aggiornamento del quadro conoscitivo

l quadro descritto nei paragrafi precedenti rappresenta una base conoscitiva fondamentale per l'impostazione delle strategie di conservazione dell'anguilla nel bacino del Po, ma non può essere considerato esaustivo né definitivo. Il sistema fluviale padano è infatti soggetto a continui cambiamenti,

legati sia alla realizzazione, modifica o dismissione di opere idrauliche e infrastrutture trasversali, sia all'evoluzione delle conoscenze disponibili sullo stato ecologico del reticolo e sulle dinamiche della specie.

Nel contesto del progetto LIFEEL, il lavoro sviluppato nell'ambito delle Azioni A3, A4 e A5 ha consentito di aggiornare e integrare in modo significativo il quadro derivante dal precedente progetto LIFE Con.Flu.Po, migliorando la conoscenza della distribuzione delle criticità e della loro rilevanza per la conservazione dell'Anguilla europea. In particolare, il geodatabase sviluppato nell'ambito dell'Azione A4 costituisce uno strumento centrale per la costruzione di una rappresentazione aggiornata della frammentazione fluviale del bacino del Po, integrando informazioni relative agli sbarramenti, alla continuità longitudinale, alla presenza di impianti idroelettrici e alle condizioni di potenziale accessibilità del reticolo per la specie.

È tuttavia necessario evidenziare che il quadro conoscitivo elaborato nell'ambito di LIFEEL è stato costruito specificamente in funzione dell'ecologia dell'Anguilla europea (*Anguilla anguilla*) e delle differenti esigenze ecologiche e migratorie associate ai diversi stadi vitali della specie. La valutazione della permeabilità degli sbarramenti, così come la classificazione delle opere in termini di barriera invalicabile, parzialmente valicabile o valicabile, deve pertanto essere interpretata come una valutazione specie-specifica riferita esclusivamente all'anguilla.

Tale classificazione tiene conto delle peculiari capacità biologiche della specie, e in particolare:

- delle capacità natatorie e di arrampicamento delle giovani anguille (ceche e ragani);
- delle modalità di dispersione e colonizzazione del reticolo interno;
- delle caratteristiche della migrazione riproduttiva delle anguille argentine;
- della vulnerabilità della specie rispetto alle opere trasversali e agli impianti idroelettrici.

Ne consegue che il medesimo manufatto può presentare livelli di permeabilità anche molto differenti per altre specie ittiche, soprattutto in relazione alle rispettive capacità di nuoto, salto, comportamento migratorio e utilizzo dell'habitat.

Il presente Piano si colloca quindi in una fase di transizione tra il quadro storico derivato da LIFE Con.Flu.Po e una lettura aggiornata della continuità ecologica del bacino del Po sviluppata attraverso LIFEEL. Nei capitoli successivi, tale aggiornamento viene ulteriormente approfondito, con l'obiettivo di definire una rappresentazione contemporanea delle principali criticità residue e di individuare le priorità di intervento al 2026, sia per il ripristino della migrazione in risalita delle giovani anguille sia per la riduzione della mortalità durante la migrazione di discesa dei riproduttori.

In questa prospettiva, risulta ancor più importante chiarire che il quadro della frammentazione non debba essere interpretato come un elemento statico, ma come una base evolutiva e dinamica, suscettibile di progressivi aggiornamenti in funzione:

- dell'evoluzione delle conoscenze;
- dell'attuazione di nuovi interventi di deframmentazione;
- della modifica delle opere esistenti;
- delle opportunità gestionali e autorizzative;
- dei risultati delle future attività di monitoraggio e ricerca.

Il Piano assume pertanto il ruolo di strumento tecnico-operativo aperto, finalizzato a supportare nel tempo strategie di intervento sempre più mirate, efficaci e coerenti con gli obiettivi di conservazione dell'Anguilla europea nel bacino del Po.

5 Definizione del reticolo prioritario per l'Anguilla

5.1 Principi generali

La definizione del reticolo prioritario costituisce il passaggio centrale del Piano, in quanto consente di tradurre il quadro conoscitivo sulla frammentazione del bacino del Po in una struttura gerarchica di intervento orientata alla conservazione dell'anguilla europea.

Il reticolo prioritario è inteso come l'insieme degli assi fluviali e delle connessioni che, per posizione, estensione e funzionalità ecologica, rivestono un ruolo strategico nel garantire la percorribilità del sistema idrografico nelle due direzioni migratorie della specie. Esso non coincide quindi con l'intero reticolo idrografico, ma rappresenta una selezione mirata di porzioni del sistema in cui gli interventi di deframmentazione e mitigazione producono il massimo beneficio in termini di accessibilità degli habitat e riduzione dei rischi.

La sua individuazione si basa su un principio di efficacia ecologica: intervenire su un numero limitato di nodi, opportunamente selezionati, può consentire di riattivare porzioni estese di reticolo e di migliorare in modo significativo la funzionalità complessiva del sistema.

5.2 Criteri di selezione degli assi prioritari

La selezione degli assi prioritari è condotta attraverso un insieme integrato di criteri, che combinano aspetti ecologici, spaziali e funzionali.

Tra i principali criteri adottati rientrano:

- **rilevanza ecologica del corso d'acqua**, in termini di idoneità potenziale come habitat di accrescimento e corridoio migratorio;
- **posizione nel reticolo**, con particolare riferimento ai corsi d'acqua che connettono direttamente il mare con aree interne di elevato valore ecologico;
- **continuità residua**, ovvero il grado di frammentazione già presente e la possibilità di recupero della percorribilità attraverso un numero limitato di interventi;
- **estensione di habitat accessibile**, valutata in termini di lunghezza di reticolo e di qualità degli ambienti che possono essere resi nuovamente disponibili;
- **ruolo nella migrazione di discesa**, considerando la presenza di nodi critici potenzialmente impattanti per le anguille argentine.

L'applicazione combinata di questi criteri consente di individuare un sistema di assi fluviali prioritari, sui quali concentrare le analisi di dettaglio e la successiva definizione delle priorità di intervento.

5.3 Struttura gerarchica del reticolo

Il reticolo prioritario è organizzato secondo una struttura gerarchica che distingue tra diversi livelli di rilevanza strategica.

In particolare, possono essere individuati:

- **assi principali**, costituiti dal corso del fiume Po e dai principali affluenti che rappresentano le direttrici primarie di migrazione;
- **assi secondari**, rappresentati da sottobacini e corsi d'acqua che contribuiscono in modo significativo all'estensione degli habitat accessibili;
- **connessioni locali**, costituite da tratti di reticolo che, pur avendo un'estensione limitata, risultano funzionalmente rilevanti per il completamento della continuità.

Questa articolazione consente di differenziare le priorità e di modulare gli interventi in funzione del ruolo svolto dai diversi elementi del sistema, evitando approcci uniformi e poco efficaci.

5.4 Integrazione delle due direzioni migratorie

Nella definizione del reticolo prioritario, particolare attenzione è dedicata all'integrazione tra migrazione di risalita e migrazione di discesa.

Gli assi selezionati devono infatti garantire non solo l'accesso agli habitat di accrescimento, ma anche la possibilità per le anguille adulte di ritornare verso il mare in condizioni di sicurezza. Ciò implica che la valutazione della priorità non può basarsi esclusivamente sulla riapertura della continuità verso monte, ma deve considerare anche la presenza e la distribuzione di criticità lungo il percorso di discesa.

In questa prospettiva, il reticolo prioritario rappresenta un sistema funzionale bidirezionale, nel quale le due componenti migratorie sono considerate in modo integrato. Gli assi che presentano condizioni favorevoli in entrambe le direzioni assumono un valore strategico maggiore, mentre quelli caratterizzati da elevati rischi in fase di discesa richiedono interventi coordinati di deframmentazione e mitigazione.

5.5 Relazione con il geodatabase e strumenti GIS

La definizione del reticolo prioritario è supportata dall'utilizzo del geodatabase sviluppato nell'ambito del progetto LIFEEL e da strumenti di analisi spaziale.

Attraverso il geodatabase è possibile:

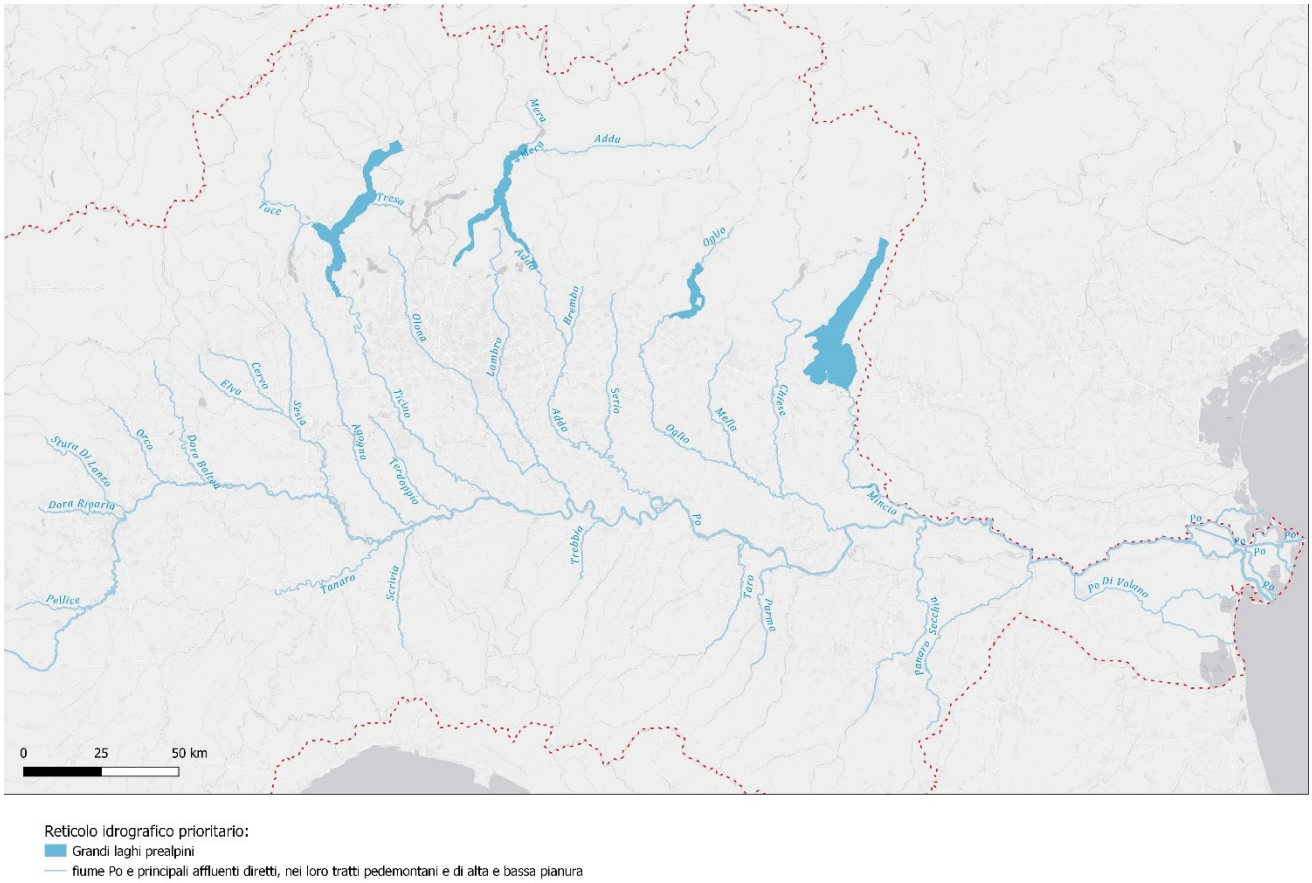
- localizzare le opere interferenti e caratterizzarne le principali proprietà;
- analizzare la distribuzione delle frammentazioni lungo il reticolo;
- valutare la continuità residua e le possibilità di connessione tra tratti fluviali;
- integrare informazioni relative alla distribuzione della specie e alla qualità degli habitat.

Gli strumenti GIS consentono di elaborare queste informazioni in modo sistematico, supportando la costruzione del reticolo prioritario e la successiva fase di prioritizzazione degli interventi.

5.6 Esiti della selezione del reticolo prioritario

L'applicazione dei criteri sopra descritti conduce all'individuazione di un sistema di assi fluviali prioritari che costituisce la base per le fasi successive del Piano.

Tali assi rappresentano i corridoi principali su cui concentrare le azioni di miglioramento della connettività, e definiscono il quadro di riferimento per l'analisi dei nodi critici e la loro gerarchizzazione.



Reticolo idrografico prioritario:
Grandi laghi prealpini
fiume Po e principali affluenti diretti, nei loro tratti pedemontani e di alta e bassa pianura

Figura 5-1. Reticolo idrografico prioritario.

La definizione del reticolo idrografico prioritario (Figura 5-1) deriva dall'integrazione di criteri biologici, geografici e funzionali, finalizzati a individuare gli assi fluviali che, per continuità, accessibilità, estensione degli habitat e ruolo storico nelle migrazioni, risultano prioritari ai fini del recupero della specie.
La rete comprende:

- il fiume Po lungo l'intero tratto di pianura;
- i principali affluenti diretti del Po nei loro tratti pedemontani e di alta e bassa pianura;
- il sistema dei grandi laghi prealpini e dei relativi emissari;
- il corridoio deltizio del Po di Volano, storicamente uno dei principali assi di colonizzazione dell'anguilla verso la pianura padana orientale.

Dal punto di vista geografico, il reticolo prioritario si sviluppa dalla fascia alpina e prealpina fino al Delta del Po e comprende i principali sottobacini nord-padani: Ticino, Adda, Oglio, Mincio, Taro, Trebbia, Secchia, Panaro, Brenta, Serio, Lambro, Olona, Sesia, Scrivia, Tanaro e altri corsi d'acqua direttamente connessi all'asta principale del Po.

Particolare rilevanza assumono:

- il sistema Ticino-Verbano;
- il sistema Adda-Lario;
- il sistema Oglio-Sebino;
- il sistema Mincio-Garda;

che rappresentano i principali poli di habitat lentici profondi e produttivi potenzialmente idonei al lungo accrescimento dell'anguilla.
La rete evidenzia inoltre la forte relazione ecologica tra il Delta del Po e l'intero bacino padano: le giovani anguille in ingresso dall'Adriatico utilizzano infatti i rami deltizi e i principali corridoi idraulici di bonifica e navigazione per penetrare verso monte e colonizzare progressivamente il reticolo interno. In questo quadro il sistema Po di Volano-Navigabile-Burana assume un ruolo strategico, poiché costituisce uno degli ultimi corridoi storici ancora potenzialmente funzionali alla risalita naturale della specie.
L'individuazione di questo reticolo prioritario non rappresenta soltanto una delimitazione geografica, ma definisce il sistema sul quale concentrare in modo prioritario:

- le azioni di deframmentazione;
- gli interventi di mitigazione della mortalità;
- il monitoraggio delle migrazioni;
- la pianificazione gestionale;
- le future strategie di conservazione su scala di bacino.

La mappa rappresentata in Figura 5-1 evidenzia infine come la conservazione di Anguilla europea non possa essere affrontata alla scala del singolo tratto fluviale o del singolo sbarramento, ma richieda necessariamente una visione sistemica di bacino idrografico, coerente con la biologia altamente migratrice della specie e con gli obiettivi del Regolamento Europeo CE 1100/2007.

Nel capitolo successivo, il reticolo prioritario verrà utilizzato come base per l'individuazione e la classificazione dei nodi critici, al fine di definire le priorità di intervento a scala di bacino.

6 Individuazione e gerarchizzazione dei nodi critici per la risalita

6.1 Definizione di nodo critico

Il presente capitolo definisce il quadro dei nodi critici prioritari per la migrazione in risalita dell'Anguilla europea lungo il reticolo idrografico prioritario del bacino del Po.

L'analisi è finalizzata a individuare le opere e i sistemi di frammentazione che limitano maggiormente la continuità ecologica funzionale alla colonizzazione degli habitat continentali da parte della specie, con particolare riferimento:

- agli assi migratori principali;
- alle connessioni con i grandi laghi prealpini;
- ai corridoi storici di dispersione verso il reticolo interno;
- ai nodi la cui mitigazione consentirebbe il massimo incremento di habitat accessibile.

La prioritizzazione è sviluppata secondo una logica strategica di bacino, orientata a massimizzare il beneficio ecologico derivante dagli interventi di deframmentazione, concentrando l'attenzione sui sistemi in grado di contribuire maggiormente al recupero della continuità longitudinale del reticolo prioritario per l'anguilla.

6.2 Definizione di nodo per la migrazione in risalita

Nel contesto del presente Piano, per nodo per la migrazione in risalita si intende qualsiasi opera o elemento artificiale del reticolo idrografico in grado di limitare, ostacolare o interrompere significativamente la risalita dell'anguilla verso gli habitat continentali.

Rientrano in questa definizione:

- dighe;
- traverse;
- briglie;
- opere di derivazione;
- impianti idrovori;
- sistemi di regolazione;
- manufatti trasversali;
- più in generale, tutte le strutture che determinano una riduzione della permeabilità longitudinale del sistema fluviale per la specie.

La criticità delle opere viene valutata in termini funzionali e specie-specifici, considerando le caratteristiche biologiche dell'anguilla europea e in particolare:

- la capacità natatoria delle diverse classi vitali;
- la capacità di arrampicamento delle giovani anguille;
- la possibilità di utilizzo di microflussi laterali e superfici umide;
- la risposta della specie alle differenti condizioni idrauliche;
- la continuità residua del corridoio migratorio.

La classificazione delle opere come invalicabili, parzialmente valicabili o valicabili deve quindi essere interpretata esclusivamente in riferimento all'Anguilla e non ad altre specie ittiche, che possono presentare capacità di superamento molto differenti.

Come illustrato nella mappa seguente, lungo il reticolo prioritario, alla luce del quadro aggiornato al 2026, si identificano almeno 194 nodi, punti di frammentazione artificiale della continuità naturale dell'*homerange* originario dell'Anguilla.

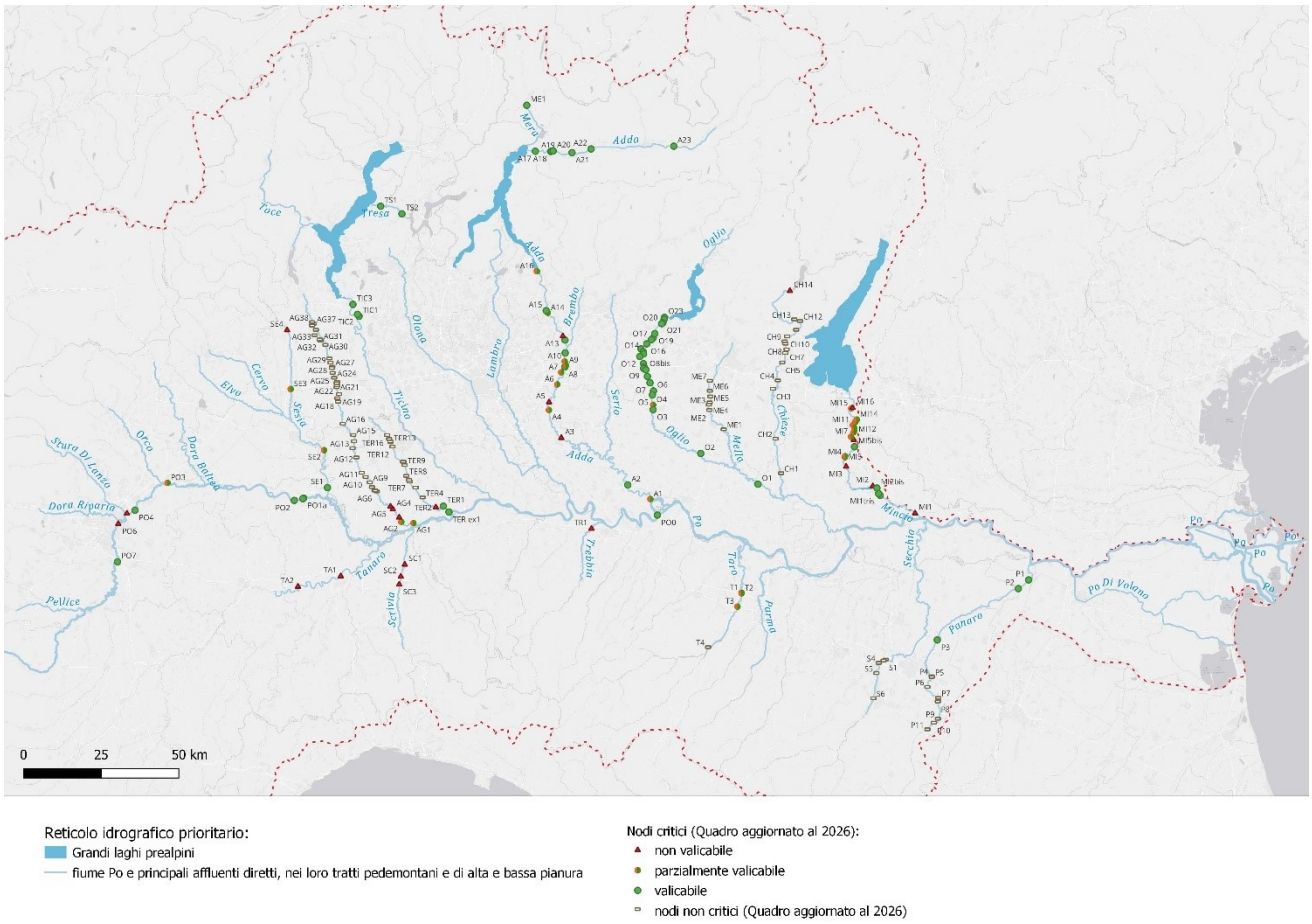


Figura 6-1. Distribuzione delle frammentazioni fluviali artificiali lungo il reticolo idrografico prioritario, che costituiscono nodi (critici e non critici, secondo le definizioni riportate al paragrafo seguente) per la libera migrazione dell'Anguilla.

6.3 Identificazione dei nodi critici

L'identificazione dei nodi critici è stata effettuata a partire dal geodatabase sviluppato nell'ambito dell'Azione A4 del progetto LIFEEL, integrato con:

- i dati storici derivanti dal progetto LIFE Con.Flu.Po;

- gli aggiornamenti sviluppati nelle Azioni A3, A4 e A5;
- verifiche territoriali;
- informazioni tecniche disponibili;
- e analisi della continuità ecologica del reticolo prioritario.

L'analisi è stata sviluppata sull'intero reticolo prioritario definito nel capitolo precedente, comprendente:

- l'asta principale del Po;
- i principali affluenti;
- il sistema deltizio;
- i corridoi di bonifica e navigazione;
- e i sistemi di connessione con i grandi laghi prealpini.

Per ciascun nodo sono stati considerati:

- la posizione nel sistema migratorio;
- il livello di permeabilità per la specie;
- la presenza di eventuali dispositivi di passaggio;
- la continuità residua del reticolo a monte;
- il ruolo strategico dell'opera rispetto alla funzionalità complessiva del corridoio migratorio.

6.4 Parametri di valutazione della criticità

La valutazione dei nodi critici è stata effettuata attraverso un approccio integrato basato su parametri ecologici, funzionali e territoriali.

Tra i principali elementi considerati rientrano:

- grado di impedimento alla risalita;
- posizione dell'opera rispetto agli assi migratori principali;
- distanza dal mare e connessione con il reticolo prioritario;
- continuità residua del sistema a monte;
- presenza di ulteriori barriere lungo il corridoio;
- estensione di habitat potenzialmente riattivabile;
- connessione con grandi habitat di accrescimento;
- presenza di sistemi di passaggio già esistenti;
- fattibilità tecnica preliminare degli interventi.

Particolare rilevanza è stata attribuita alla capacità del singolo intervento di riattivare porzioni estese di reticolo e di ristabilire connessioni strategiche con ambienti ad elevato valore ecologico per la specie.

L'analisi è stata quindi orientata non soltanto alla valutazione locale delle singole opere, ma soprattutto alla comprensione del loro significato sistemico all'interno della rete migratoria dell'anguilla.

6.5 Logica di gerarchizzazione

La gerarchizzazione dei nodi critici è stata sviluppata secondo una logica strategica di bacino finalizzata a massimizzare il recupero della continuità ecologica complessiva.

L'approccio adottato non mira alla semplice rimozione del maggior numero possibile di ostacoli, ma all'individuazione degli interventi in grado di produrre il massimo beneficio ecologico in termini di:

- riattivazione dei corridoi migratori;
- ampliamento degli habitat accessibili;
- riconnessione con i principali sistemi di accrescimento;
- incremento della continuità funzionale del reticolo.

Assumono quindi particolare rilevanza:

- i nodi localizzati lungo gli assi migratori principali;
- le opere che limitano l'accesso ai grandi laghi prealpini;
- gli sbarramenti posti lungo direttrici storiche di colonizzazione;
- i nodi la cui mitigazione consentirebbe la riattivazione di ampie porzioni di reticolo;
- le opere localizzate in corrispondenza di strozzature strategiche del sistema.

In questo contesto, il Piano attribuisce priorità elevata ai sistemi di connessione tra il Po e:

- Lago Maggiore;
- Lago di Como;
- Lago d'Iseo;
- Lago di Garda.

I grandi laghi prealpini rappresentano infatti habitat storicamente fondamentali per l'accrescimento dell'Anguilla e costituiscono elementi centrali nella strategia di recupero della funzionalità ecologica del bacino padano.

6.6 Stato attuale della continuità del reticolo prioritario

L'aggiornamento del quadro della frammentazione evidenzia come LIFEEL abbia prodotto un significativo avanzamento nel ripristino della continuità ecologica del bacino del Po per la migrazione in risalita dell'anguilla.

Gli interventi realizzati nell'ambito dell'Azione A3 hanno infatti consentito di ristabilire il collegamento funzionale tra il mare Adriatico e il reticolo prioritario interno attraverso il sistema:

- Po di Volano;
- Canale Navigabile;
- Valle Lepri;
- sistema Burana.

Tale intervento ha permesso di riaprire la principale direttrice storica di colonizzazione naturale dell'anguilla verso il reticolo interno della pianura padana.

Nel contesto attuale, il reticolo prioritario oggi accessibile alla specie supera complessivamente i 1.500 km di estensione lineare e comprende:

- l'asta principale del Po;
- numerosi affluenti strategici;
- e parte dei principali sistemi lacustri prealpini.

Parallelamente, gli interventi di deframmentazione realizzati negli ultimi anni anche al di fuori di LIFEEL hanno contribuito al miglioramento della continuità ecologica di ulteriori direttrici strategiche.

Particolarmente significativo risulta il sistema Oglio–Sebino, oggi sostanzialmente riattivato fino al Lago d'Iseo e quindi funzionalmente accessibile all'anguilla.

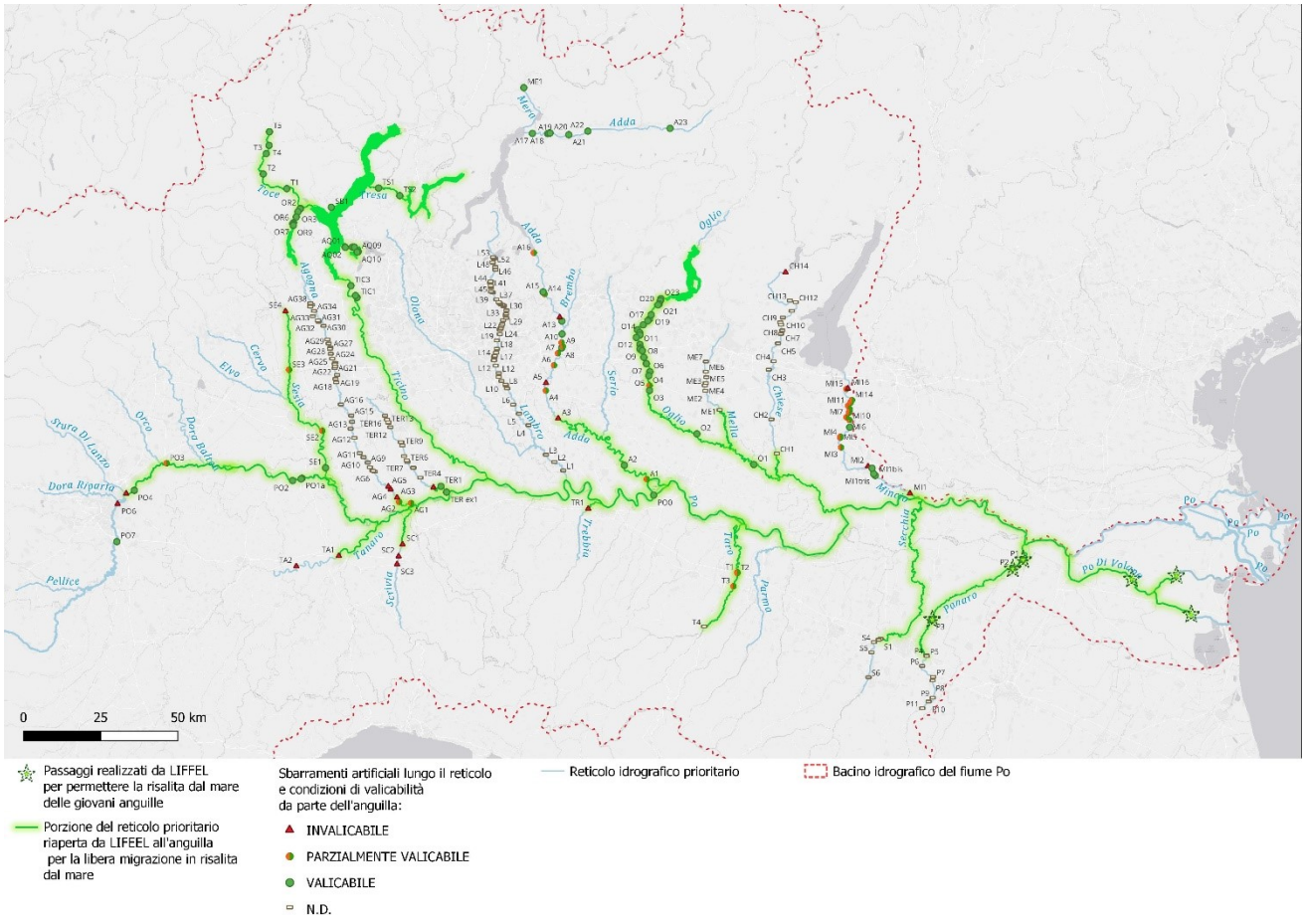


Figura 6-2. Reticolo idrografico riaperto alla libera migrazione dal mare, ad opera di LIFEEL.

6.7 Direttrici prioritarie di riconnessione

Sulla base del quadro aggiornato della frammentazione e della continuità residua del reticolo prioritario, il Piano individua due principali direttrici strategiche prioritarie per il proseguimento delle azioni di deframmentazione nel bacino del Po a favore della risalita dell'Anguilla:

- **direttrice Mincio – Lago di Garda;**
- **direttrice Adda – Lago di Como.**

Tali sistemi rappresentano attualmente le principali opportunità di espansione della continuità ecologica del reticolo accessibile alla specie, in continuità con i risultati già raggiunti da LIFEEL attraverso la riattivazione del collegamento tra il mare Adriatico e il reticolo prioritario padano.

La direttrice Mincio–Garda definisce lo Scenario prioritario 1 del presente Piano. Essa rappresenta infatti il naturale proseguimento, dal mare, del corridoio migratorio già riattivato da LIFEEL verso uno dei più importanti sistemi lacustri del bacino padano. La mitigazione dei nodi critici presenti lungo il Mincio consentirebbe di ristabilire la continuità ecologica fino al Lago di Garda, ampliando significativamente gli habitat potenzialmente accessibili all'Anguilla e riattivando un asse storico di colonizzazione verso il settore orientale del bacino.

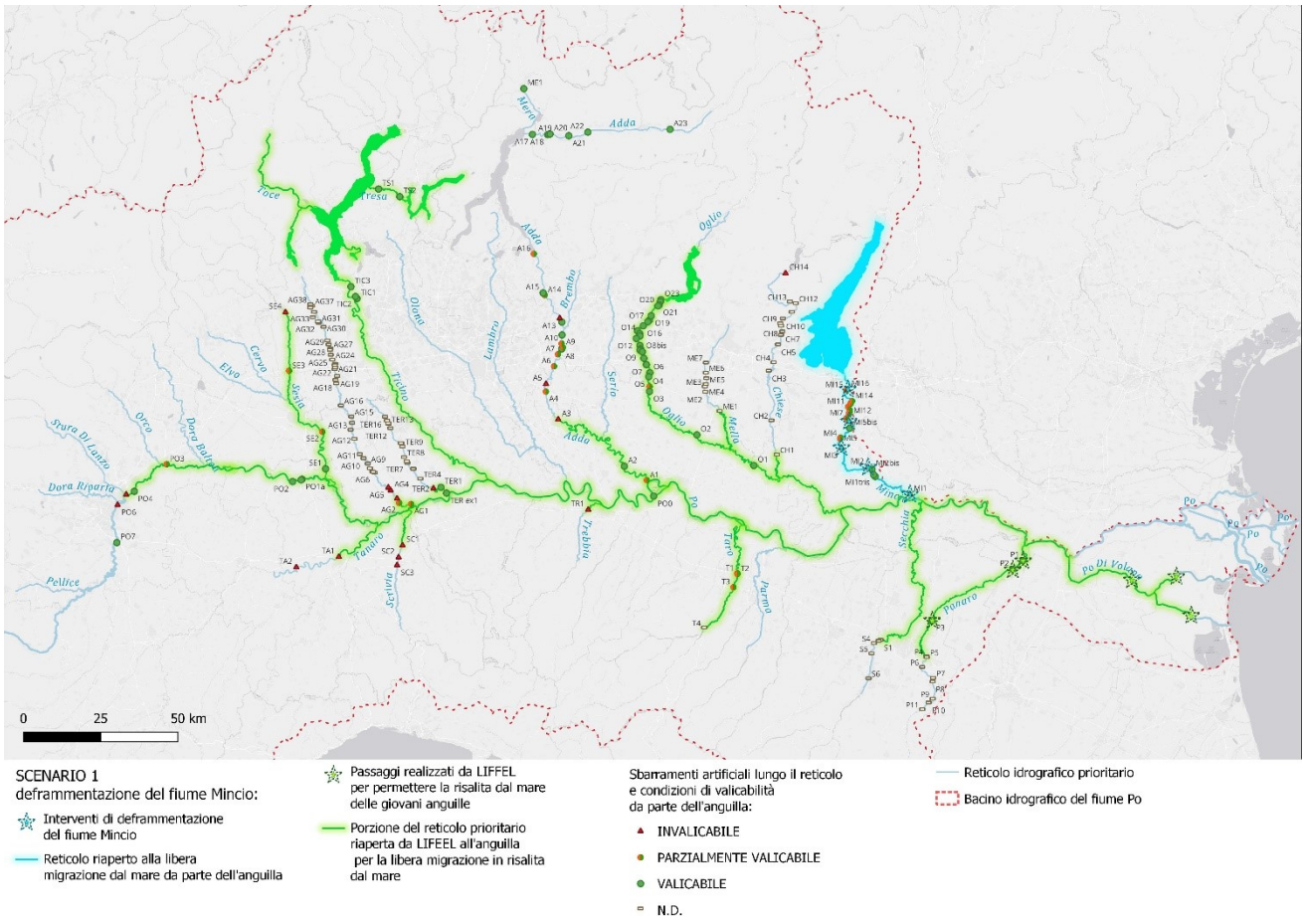


Figura 6-3. Scenario 1 di riapertura dell'asse di migrazione in risalita lungo la direttrice Mincio-lago di Garda.

La direttrice Adda–Lario definisce invece lo Scenario prioritario 2. In questo caso, l'obiettivo strategico è il progressivo recupero della continuità lungo il sistema Adda–Lago di Como, attraverso la mitigazione delle principali criticità residue presenti lungo l'asta fluviale. La riconnessione di questo asse consentirebbe l'accesso a un ulteriore grande sistema lacustre prealpino, incrementando l'estensione complessiva di habitat idoneo potenzialmente disponibile per la specie.

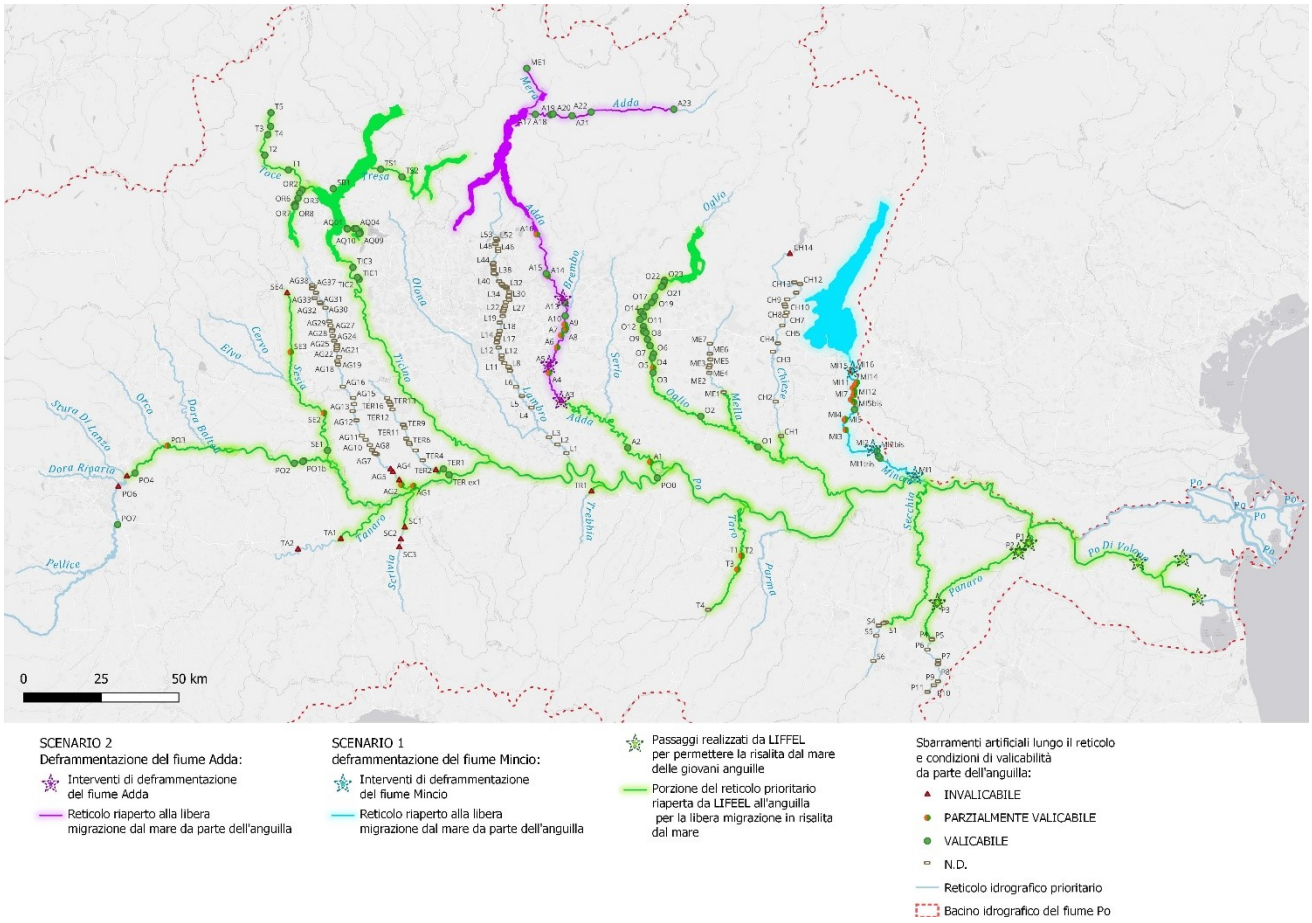


Figura 6-4. Scenario 2 di riapertura dell'asse di migrazione in risalita lungo la direttrice Adda-lago di Como.

I due scenari non devono essere interpretati come alternative reciprocamente esclusive, ma come direttrici progressive e complementari di una più ampia strategia di riconnessione ecologica del bacino del Po, costruita secondo una logica di massimizzazione del beneficio ecologico derivante dagli interventi di deframmentazione.

6.7.1 Scenario prioritario 1 – Riconnessione del sistema Mincio–Lago di Garda: studio preliminare di deframmentazione dei primi 5 nodi critici per la migrazione in risalita dell'anguilla

Lo Scenario prioritario 1 rappresenta il principale asse strategico di espansione della continuità ecologica attualmente riattivata da LIFEEL nel settore orientale del bacino del Po.

L'obiettivo dello scenario è il progressivo ripristino della continuità funzionale del fiume Mincio tra la confluenza nel Po e il Lago di Garda, attraverso la mitigazione dei principali nodi di frammentazione che oggi limitano la risalita dell'anguilla verso il sistema gardesano.

Il sistema Mincio–Garda riveste un'importanza particolarmente elevata dal punto di vista ecologico e gestionale, poiché consente il collegamento diretto tra il mare Adriatico, il reticolo padano e uno dei più grandi e produttivi habitat lacustri italiani storicamente colonizzati dall'anguilla.

L'analisi sviluppata nell'ambito del presente Piano ha consentito di individuare cinque nodi prioritari di intervento, la cui mitigazione rappresenta la condizione essenziale per la progressiva riattivazione dell'intero corridoio ecologico del Mincio.

Le valutazioni sviluppate costituiscono schede preliminari tecnico-funzionali di indirizzo, finalizzate a definire:

- la natura della criticità;
- le principali opzioni di mitigazione;
- la fattibilità preliminare degli interventi;
- e il beneficio atteso in termini di continuità ecologica.

Le soluzioni individuate dovranno essere successivamente approfondite mediante specifiche progettazioni tecnico-idrauliche ed ecologiche di dettaglio.

6.7.1.1 Nodo prioritario 1 – Sostegno di Governolo

Numerazione da valle	n. 01
Codice Geodatabase:	MI1
Località	Governolo
Manufatto	Il cosiddetto "sostegno" mantiene il dislivello tra Mincio e Po, mentre la conca consente il passaggio delle imbarcazioni dal Mincio al Po e viceversa.
Da deframmentare	SI
Tipologia intervento	Passaggio a bacini successivi

Vista da valle dello sbarramento

Vista da monte della conca di navigazione

Vista dall'alto dei manufatti

Il sostegno di Governolo costituisce il principale nodo di ingresso al sistema Mincio dal fiume Po e rappresenta pertanto una delle opere strategicamente più rilevanti dell'intero scenario di riconnessione.

Il manufatto mantiene il dislivello tra Po e Mincio ed è associato a una conca di navigazione. Nelle condizioni attuali, la struttura determina una significativa limitazione alla risalita della fauna ittica.

La riattivazione della continuità in questo punto consentirebbe l'accesso dell'anguilla all'intero sistema del Mincio.

L'ipotesi preliminare di intervento prevede la realizzazione di un passaggio per pesci a bacini successivi integrato con il sistema esistente, progettato in funzione delle caratteristiche migratorie dell'anguilla e compatibile con le esigenze idrauliche e di navigazione del sito.

- Tipologia preliminare di intervento: Passaggio a bacini successivi.
- Beneficio atteso: Riapertura del collegamento funzionale Po–Mincio.

6.7.1.2 Nodo prioritario 2 – Diga della Vasarina tra il secondo ed il terzo lago di Mantova

Numerazione da valle	n.05
Codice Geodatabase:	MI2
Località	Mantova
Manufatto	Tra Secondo e Terzo Lago di Mantova - Scivolo
Da deframmentare	SI

Tipologia intervento	Passaggio a bacini successivi

Vista da valle

Vista da monte

Vista dall'alto dei manufatti

La diga della Vasarina, localizzata nel tratto urbano dei laghi di Mantova tra il Secondo e il Terzo Lago, rappresenta una delle principali discontinuità presenti lungo il corridoio migratorio del Mincio. Il manufatto determina un'interruzione significativa della continuità longitudinale del sistema, ostacolando la progressione della fauna ittica verso i tratti superiori del corso d'acqua. La posizione strategica del nodo rende la sua mitigazione essenziale per garantire la continuità del corridoio ecologico attraverso il sistema dei laghi mantovani.

L'ipotesi preliminare di intervento individua come soluzione preferenziale la realizzazione di un passaggio a bacini successivi, compatibile con le caratteristiche idrauliche e morfologiche del sito.

- Tipologia preliminare di intervento: Passaggio a bacini successivi.
- Beneficio atteso: Ripristino della continuità ecologica attraverso il sistema dei laghi di Mantova.

6.7.1.3 Nodo prioritario 3 – Chiusa di Goito / Sacca di Goito

Numerazione da valle	n.06
Codice Geodatabase:	MI3
Località	Loc. Sacca (Goito)
Manufatto	Chiusa di Goito da cui ha origine il Partitore di Casale
Da deframmentare	SI
Tipologia intervento	Diversivo in sponda orografica destra

Vista da monte della Chiusa

Opera di presa laterale a monte della derivazione

Vista dall'alto dei manufatti. In sponda sinistra è presente il canale irriguo che può essere adattato a passaggio per la risalita della fauna ittica

La chiusa di Goito rappresenta uno dei principali elementi di frammentazione del tratto medio del Mincio.

Il sistema è caratterizzato dalla presenza della derivazione del Partitore di Casale e da una configurazione idraulica complessa che limita significativamente la continuità longitudinale.

Le valutazioni preliminari evidenziano la possibilità di utilizzare e adattare elementi idraulici laterali già esistenti come corridoi preferenziali per la risalita della fauna ittica, riducendo l'impatto delle opere necessarie.

L'intervento consentirebbe il recupero della continuità verso i tratti superiori del Mincio.

- Tipologia preliminare di intervento: Diversivo laterale / adeguamento del canale esistente in sponda destra.
- Beneficio atteso: Ripristino della continuità nel tratto medio del Mincio.

6.7.1.4 Nodo prioritario 4 – Traversa di Pozzolo

Numerazione da valle	n.10
Codice Geodatabase:	MI6
Località	Pozzolo
Manufatto	
Da deframmentare	SI
Tipologia intervento	Passaggio a bacini successivi

Vista da valle

Vista da monte

Vista dall'alto dei manufatti

La diga di Pozzolo costituisce uno dei principali nodi di frammentazione presenti lungo l'asta del Mincio e rappresenta un elemento strategico per la continuità ecologica verso il settore superiore del sistema fluviale e il Lago di Garda.

Il nodo è inoltre strettamente connesso al sistema idraulico dello scaricatore Pozzolo–Maglio, una delle principali opere di regolazione del Mincio nel settore mantovano. Il canale scaricatore svolge infatti una funzione strategica nella gestione delle piene e nella regolazione dei deflussi, consentendo la derivazione delle portate eccedenti del Mincio verso il Diversivo Mincio con restituzione più a valle, in località Formigosa. Tale configurazione permette di alleggerire le portate transitanti nel sistema dei laghi di Mantova e

contribuisce alla sicurezza idraulica del territorio. Il sistema riveste inoltre funzioni rilevanti nella gestione irrigua del comprensorio, nella regolazione idraulica del reticolo e nel supporto ad attività di produzione idroelettrica associate alle derivazioni presenti.

Dal punto di vista ecologico, la combinazione tra traversa, opere di derivazione e regolazione determina tuttavia una significativa riduzione della permeabilità longitudinale del corridoio migratorio del Mincio, limitando la possibilità di risalita dell'anguilla verso i tratti superiori del sistema.

La posizione del nodo assume particolare rilevanza strategica poiché localizzata lungo una direttrice obbligata di connessione verso il Lago di Garda.

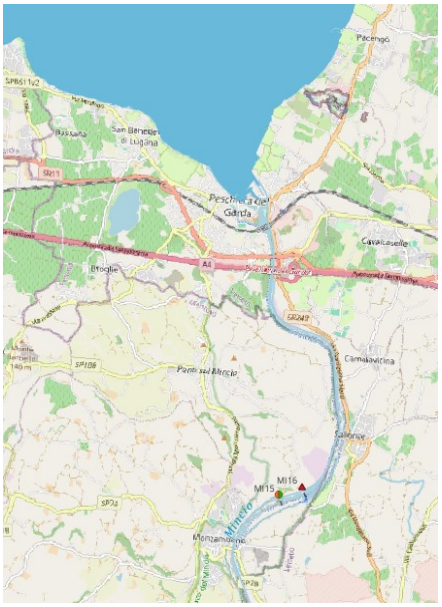
Le valutazioni preliminari sviluppate nell'ambito del Piano individuano come soluzione preferenziale la realizzazione di un passaggio tecnico a bacini successivi integrato con una verifica funzionale complessiva del sistema di derivazione e regolazione associato allo scaricatore Pozzolo-Maglio.

- Tipologia preliminare di intervento: Passaggio a bacini successivi e adeguamento funzionale del nodo idraulico.
- Beneficio atteso: Riconnessione dei tratti superiori del Mincio e progressiva riattivazione della continuità ecologica verso il Lago di Garda.

6.7.1.5 Nodo prioritario 5 – Sistema di Salionze e sbarramento di regolazione del Lago di Garda

Numerazione da valle	n.20
Località	Sbarramento di regolazione Lago di Garda
Manufatto	Derivazione
Da deframmentare	SI
Tipologia intervento	Passaggio a bacini successivi

Vista dall'alto dei manufatti



Il sistema di Salionze e lo sbarramento di regolazione del Lago di Garda rappresentano il nodo terminale dell'intera direttrice strategica Mincio–Garda.

La presenza delle opere di regolazione determina attualmente l'interruzione della continuità ecologica tra il fiume Mincio e il Lago di Garda.

La riattivazione di questo nodo consentirebbe il completamento della connessione funzionale tra il mare Adriatico e il sistema gardesano.

Le valutazioni preliminari individuano come soluzione preferenziale la realizzazione di passaggi tecnici a bacini successivi integrati con eventuali sistemi di rampa naturale nei tratti compatibili.

- Tipologia preliminare di intervento: Passaggi a bacini successivi.
- Beneficio atteso: Riconnessione ecologica del Lago di Garda al sistema Po–Adriatico.

6.7.1.6 Stima dei costi

Nel loro complesso, i cinque nodi prioritari individuati definiscono la struttura portante dello Scenario prioritario 1 e rappresentano le principali condizioni operative necessarie per il progressivo ripristino della continuità ecologica del sistema Mincio–Garda per l'anguilla europea.

Le stime economiche riportate derivano da valutazioni tecnico-funzionali sviluppate nell'ambito del presente Piano e devono essere considerate come ordini di grandezza indicativi finalizzati alla programmazione strategica degli interventi. I valori comprendono le principali opere civili e idrauliche necessarie alla realizzazione dei sistemi di passaggio, degli adeguamenti morfologici e delle opere accessorie funzionali alla continuità ecologica.

Le tipologie preliminari di intervento considerate comprendono prevalentemente:

- passaggi a bacini successivi;
- rampe in pietrame;
- diversivi laterali;
- adeguamenti funzionali di opere esistenti.

Sebbene la prioritizzazione dei nodi sia stata sviluppata specificamente in funzione dell'ecologia dell'anguilla europea, gli interventi ipotizzati sono orientati, ove tecnicamente possibile, verso soluzioni di deframmentazione a funzionalità ecologica ampia e non esclusivamente specie-specifica. Le opere previste potranno quindi contribuire più in generale al recupero della continuità ecologica fluviale e alla mobilità dell'ittiofauna autoctona del sistema Mincio–Po.

Il costo complessivo preliminare stimato per l'attuazione dello Scenario prioritario 1 è pari a circa € 2.058.000 (esclusa IVA), articolato secondo il quadro riportato nella Tabella seguente.

I valori economici dovranno essere successivamente verificati e approfonditi nell'ambito delle future fasi progettuali di dettaglio, anche in funzione delle condizioni idrauliche locali, delle soluzioni tecniche effettivamente adottate e delle eventuali prescrizioni autorizzative.

Nodo prioritario	**Tipologia preliminare**	**Stima preliminare (€ IVA esclusa)**
Sostegno di Governolo	Passaggio a bacini successivi	350.000

Diga della Vasarina	Passaggio a bacini successivi	210.000
Sacca di Goito	Diversivo laterale / adeguamento canale	126.000
Diga di Pozzolo	Passaggio a bacini successivi	350.000
Diga di Salionze	Passaggio a bacini successivi / rampa	1.022.000
TOTALE OPERE		2.058.000,00 Euro

7 Individuazione e gerarchizzazione dei nodi critici per la discesa

7.1 Obiettivo della prioritizzazione

Il presente capitolo individua i nodi critici prioritari per la migrazione di discesa dell'Anguilla europea lungo il reticolo idrografico prioritario del bacino del Po. L'analisi riguarda in particolare le anguille argentine, ossia gli individui maturi che abbandonano le acque interne per raggiungere il mare e intraprendere la migrazione riproduttiva verso il Mar dei Sargassi.

A differenza della migrazione in risalita, per la quale il tema principale è rappresentato dalla possibilità di superare fisicamente gli sbarramenti e accedere agli habitat di accrescimento, la migrazione di discesa pone un problema specifico di rischio e mortalità. I nodi critici sono infatti rappresentati soprattutto da opere di presa, derivazioni e impianti idroelettrici nei quali gli individui in smonta possono essere attratti dal flusso turbinato e subire lesioni o mortalità diretta.

7.2 Definizione di nodo critico per la migrazione di discesa

Nel presente Piano, per nodo critico per la migrazione di discesa si intende un'opera idraulica o idroelettrica localizzata lungo il reticolo prioritario che, per posizione, configurazione e caratteristiche tecniche, può interferire con il transito sicuro delle anguille argentine verso valle.

Rientrano in questa categoria soprattutto:

- impianti idroelettrici;
- opere di presa;
- canali di derivazione;
- sistemi di adduzione alle turbine;
- sbarramenti associati a derivazioni;
- opere prive di adeguati sistemi di esclusione, guida o bypass.

La criticità non è quindi valutata in termini di ostacolo fisico alla progressione verso valle, ma in termini di probabilità che l'anguilla venga intercettata, attratta o convogliata verso percorsi non sicuri, in particolare verso turbine o sistemi di derivazione non compatibili con il passaggio indenne della specie.

7.3 Base conoscitiva e identificazione dei nodi

L'individuazione dei nodi critici per la discesa deriva dal lavoro sviluppato nell'ambito dell'Azione A4 e successivamente aggiornato nelle Linee guida A5.2. L'Azione A4 ha prodotto una prima ricognizione sistematica degli impianti idroelettrici presenti lungo il reticolo prioritario del bacino del Po, arrivando alla costruzione di una base informativa georiferita comprendente 254 impianti e alla caratterizzazione di dettaglio di 21 centrali selezionate mediante ricognizione sul campo.

La selezione ha riguardato in particolare i corsi d'acqua di collegamento tra il Po e i grandi laghi prealpini, ritenuti strategici anche per la migrazione di discesa delle anguille argentine: Agogna, Terdoppio, Ticino, Adda, Oglio e Mincio.

Su questa base, le Linee guida A5.2 hanno aggiornato il quadro tecnico, integrando i risultati del caso studio LIFEEL di Creva e le indicazioni più recenti sui sistemi di mitigazione, deterrenza, guida e gestione *fish-friendly* degli impianti idroelettrici.

7.4 Parametri di valutazione della criticità

La valutazione dei nodi critici per la discesa si basa su parametri differenti rispetto a quelli utilizzati per la risalita. In particolare, assumono rilievo:

- la localizzazione dell'impianto lungo un asse prioritario di migrazione;
- la presenza di derivazioni in grado di attrarre gli individui in smonta;
- la tipologia di turbina installata;
- la portata derivata rispetto alla portata naturale;
- la presenza o assenza di sistemi di protezione, esclusione, guida o *bypass*;
- la possibilità di attuare misure di gestione *fish-friendly*;
- la fattibilità di interventi di adeguamento in occasione di rinnovi concessori o *revamping*.

Particolare attenzione è attribuita agli impianti dotati di **turbine Francis**, considerate critiche per l'anguilla in ragione delle modalità di passaggio e dei rischi di lesione associati. Le Linee guida evidenziano infatti che la mortalità in turbina dipende da diversi fattori tecnici e biologici, tra cui tipologia della turbina, velocità di rotazione, salto, geometria interna e taglia degli individui.

7.5 Logica di gerarchizzazione

La gerarchizzazione dei nodi critici per la discesa non risponde alla logica dell'estensione di reticolo riaperto, ma alla riduzione del rischio di mortalità lungo i principali corridoi di ritorno al mare.

La priorità viene quindi attribuita ai nodi che combinano:

- posizione strategica lungo un asse principale del reticolo;
- presenza documentata o potenziale di anguille argentine in discesa;
- elevato rischio associato alle caratteristiche tecniche dell'impianto;
- assenza o insufficienza di sistemi di mitigazione;
- possibilità concreta di intervento mediante adeguamento, revamping o rinnovo concessorio.

In questa prospettiva, le misure prioritarie non coincidono necessariamente con opere di deframmentazione in senso stretto, ma comprendono soprattutto sistemi di compatibilizzazione dell'impianto con la migrazione di valle: deterrenti comportamentali, sistemi di guida, bypass sicuri, barriere fisiche opportunamente progettate, gestione delle portate e, ove possibile, soluzioni tecnologiche *fish-friendly*.

7.6 Nodi prioritari individuati

La ricognizione strategica sviluppata nelle Linee guida A5.2 individua tre centrali idroelettriche particolarmente critiche per la salvaguardia dell'anguilla in discesa verso il mare. Si tratta in tutti i casi di impianti localizzati sull'Adda sublacuale e dotati di turbine Francis.

7.6.1 Nodo prioritario 1 – Centrale idroelettrica Pietro Rusca, Cassano d'Adda

La centrale idroelettrica Pietro Rusca, localizzata a Cassano d'Adda e gestita da Eneco / Podini S.p.A., rappresenta un nodo prioritario per la migrazione di discesa dell'anguilla lungo l'Adda sublacuale. L'impianto monta turbine Francis, tipologia considerata critica per il transito indenne delle anguille argentine.

L'intervento prioritario dovrà essere orientato alla verifica della compatibilità dell'opera di presa e del sistema di derivazione con la migrazione di valle, valutando l'installazione di sistemi di dissuasione e guida finalizzati a evitare l'ingresso degli individui nel canale di adduzione alle turbine.

Misure preliminari di riferimento:

- sistemi deterrenti luminosi o combinati;
- indirizzamento verso percorsi alternativi sicuri;
- verifica delle condizioni idrauliche presso l'opera di presa;
- eventuale gestione stagionale delle portate durante i picchi di smonta.

7.6.2 Nodo prioritario 2 – Centrale Carlo Esterle, Cornate d'Adda

L'impianto Carlo Esterle, localizzato a Cornate d'Adda e gestito da Edison S.p.A., costituisce un secondo nodo prioritario per la migrazione di discesa. Anche in questo caso la presenza di turbine Francis rende necessaria una valutazione specifica del rischio di mortalità per le anguille argentine.

La centralità dell'impianto lungo l'asta dell'Adda sublacuale ne determina la rilevanza strategica, soprattutto in relazione alla necessità di garantire una rotta di discesa sicura dagli habitat di accrescimento del sistema Adda–Lario verso il Po e quindi verso il mare Adriatico.

Misure preliminari di riferimento:

- studio sito-specifico del comportamento idraulico presso la presa;
- installazione di sistemi di esclusione, guida o deterrenza;
- valutazione di bypass esistenti o realizzabili;
- integrazione delle misure in eventuali fasi di revamping o rinnovo concessorio.

7.6.3 Nodo prioritario 3 – Centrale Angelo Bertini, Paderno d'Adda

La centrale Angelo Bertini, localizzata a Paderno d'Adda e gestita da Edison S.p.A., rappresenta il terzo nodo prioritario individuato. L'impianto, storico e strutturalmente complesso, è inserito nell'asta idroelettrica dell'Adda e monta turbine Francis.

La sua collocazione lungo il corridoio Adda–Lario la rende particolarmente rilevante nel quadro della migrazione di discesa dell'anguilla, poiché eventuali individui provenienti dal sistema lacustre e dai tratti superiori dell'Adda devono poter attraversare questo settore senza essere intercettati da percorsi di derivazione ad elevato rischio.

Misure preliminari di riferimento:

- analisi di dettaglio dell'opera di presa e dei percorsi preferenziali di corrente;
- verifica della possibilità di installare sistemi deterrenti luminosi;
- individuazione di percorsi alternativi sicuri;
- coordinamento con gli altri impianti dell'asta idroelettrica Adda.

7.7 Indicazioni tecniche preliminari

Le soluzioni da valutare per i tre nodi prioritari dovranno essere definite caso per caso, sulla base di rilievi sito-specifici e di un'analisi idraulica di dettaglio. In termini generali, il riferimento tecnico principale è costituito dalle Linee guida A5.2, che individuano come possibili misure:

- sistemi di deterrenza comportamentale, in particolare luminosi;
- barriere fisiche opportunamente dimensionate;
- sistemi di guida verso *bypass* o scarichi sicuri;
- gestione *fish-friendly* delle portate e delle finestre di turbinazione;
- **eventuale adeguamento tecnologico delle turbine in occasione di interventi di *revamping*.**

L'esperienza LIFEEL presso la diga di Creva rappresenta il principale riferimento dimostrativo. Il sistema luminoso sperimentale installato sul Tresa ha mostrato un'efficacia di smonta compresa tra il 66% e il 69% e ha evidenziato la necessità di attivare il sistema almeno dalla seconda metà di ottobre fino alla metà di marzo, in coerenza con il periodo principale di migrazione delle anguille argentine.

7.8 Integrazione con le future fasi attuative

Per i nodi prioritari individuati, il presente Piano non definisce progettazioni di dettaglio né stime economiche preliminari, poiché la natura degli interventi richiede approfondimenti strettamente sito-specifici. La progettazione dovrà infatti essere preceduta da:

- analisi idraulica delle opere di presa;
- rilievo delle portate derivate e restituite;
- studio dei percorsi potenziali di smonta;
- verifica della presenza di vie alternative utilizzabili;
- confronto con i gestori degli impianti;
- valutazione delle opportunità connesse a rinnovi concessori o interventi di ammodernamento.

La scadenza o revisione delle concessioni idroelettriche rappresenta l'occasione più opportuna per integrare gli obblighi di compatibilizzazione ecologica degli impianti, rendendo strutturale l'adozione di misure di protezione dell'anguilla in discesa.

Concludendo, dunque, si conferma che per la migrazione di discesa, la priorità del Piano non consiste nella riapertura fisica del reticolo, ma nella riduzione del rischio di mortalità presso i principali nodi idroelettrici del reticolo prioritario. **In questo senso, il sistema Adda sublacuale costituisce l'ambito oggi più rilevante per l'applicazione operativa delle Linee guida A5.2 e per la futura compatibilizzazione degli impianti idroelettrici con la conservazione dell'Anguilla europea.**

8 Conclusioni e prospettive future

Il presente Piano rappresenta la sintesi strategica del percorso conoscitivo, tecnico e operativo sviluppato dal progetto LIFEEL sul tema della continuità fluviale per la conservazione dell'Anguilla europea nel bacino del Po. La sua funzione non è quella di esaurire il tema della deframmentazione, né di sostituire i successivi livelli progettuali, ma di definire una base tecnica ordinata per orientare le future decisioni di intervento.

LIFEEL ha consentito di compiere un avanzamento sostanziale rispetto al quadro conoscitivo e operativo precedente. Attraverso gli interventi realizzati lungo il sistema Po di Volano–Canale Navigabile–Valle Lepri–Burana, il progetto ha riattivato una direttrice storica di colonizzazione dal mare Adriatico verso il reticolo prioritario del bacino padano, rendendo nuovamente accessibile una porzione molto estesa del sistema fluviale. Questo risultato costituisce il punto di partenza per una strategia più ampia, orientata alla progressiva riconnessione dei grandi assi migratori dell'anguilla.

Il Piano individua, per la migrazione in risalita, due direttrici prioritarie di intervento: **il sistema Mincio–Lago di Garda e il sistema Adda–Lago di Como**. La prima costituisce lo **Scenario prioritario 1**, approfondito attraverso l'individuazione dei cinque nodi critici principali e una prima valutazione tecnico-economica degli interventi necessari. La seconda costituisce lo **Scenario prioritario 2**, da sviluppare come naturale prosecuzione della strategia di riconnessione verso un ulteriore grande sistema lacustre prealpino. Il sistema Oglio–Lago d'Iseo risulta allo stato attuale già sostanzialmente riattivato per l'Anguilla, a seguito degli interventi di deframmentazione intercorsi negli ultimi anni, con iniziative locali, indipendenti dal presente progetto.

Per la migrazione di discesa, il Piano assume una logica diversa ma complementare: non si tratta di riaprire fisicamente il reticolo, bensì di **ridurre il rischio di mortalità degli individui argentini durante il ritorno verso il mare**. In questo quadro, **le priorità attuali riguardano in particolare il sistema dell'Adda sublacuale e le centrali idroelettriche individuate come nodi critici per la smonta dell'anguilla**. Le future misure dovranno quindi concentrarsi sulla compatibilizzazione degli impianti attraverso sistemi di deterrenza, guida, *bypass*, gestione *fish-friendly* e adeguamenti tecnici, facendo riferimento alle Linee guida A5.2 e all'esperienza dimostrativa maturata a Creva.

Nel complesso, il Piano conferma che la conservazione dell'Anguilla europea nel bacino del Po richiede una strategia integrata, capace di considerare insieme risalita e discesa, habitat di accrescimento e ritorno al mare, opere di passaggio e misure di mitigazione del rischio. La priorità non è intervenire ovunque, ma intervenire nei punti in cui il beneficio ecologico atteso è più elevato, secondo una logica di bacino, progressiva e selettiva.

Le prospettive future riguardano quindi tre linee principali: l'attuazione degli interventi prioritari sul Mincio per la riconnessione con il Lago di Garda; lo sviluppo dello Scenario Adda–Lario per ampliare ulteriormente il reticolo accessibile; l'avvio di un percorso di compatibilizzazione degli impianti idroelettrici più critici per la migrazione di discesa. Queste azioni dovranno essere accompagnate da aggiornamento del geodatabase, monitoraggio dell'efficacia degli interventi, confronto con enti competenti e gestori delle opere, e integrazione delle misure nei procedimenti autorizzativi e concessori.

In questa prospettiva, il Piano A5.1 non rappresenta un punto di arrivo, ma uno strumento operativo per dare continuità ai risultati di LIFEEL. La sua attuazione progressiva potrà contribuire a trasformare gli interventi dimostrativi del progetto in una strategia stabile di bacino, capace di rafforzare nel tempo il ruolo del Po nella conservazione dell'Anguilla europea.

9 Elaborati tecnici di riferimento

Il presente Piano è stato sviluppato sulla base degli elaborati tecnici, dei deliverable progettuali e degli strumenti conoscitivi prodotti nell'ambito del progetto LIFEEL – "Urgent measures in the Eastern Mediterranean for the long term conservation of endangered European eel" (LIFE19 NAT/IT/000851).

In particolare, costituiscono riferimenti tecnici diretti per la costruzione del quadro conoscitivo, per la definizione del reticolo prioritario e per l'individuazione dei nodi critici i seguenti elaborati:

DELIVERABLE_A4 Action – GEODATABASE. Geodatabase georiferito delle opere trasversali, degli impianti idroelettrici e delle criticità per la migrazione dell'anguilla nel bacino del Po. Elaborato sviluppato nell'ambito dell'Azione A4 del progetto LIFEEL. Autore: G.R.A.I.A. S.r.l..

DELIVERABLE_A4 Action – *Guidelines.* *Guidelines for the compliance of hydro structures with downstream migration of silver eels* – prima versione delle linee guida tecniche per la compatibilizzazione delle opere idrauliche e idroelettriche con la migrazione di valle dell'anguilla argentina. Elaborato sviluppato nell'ambito dell'Azione A4 del progetto LIFEEL. Autore: G.R.A.I.A. S.r.l.

DELIVERABLE_A5 Action – Guidelines 2025. Aggiornamento finale delle linee guida tecniche per la mitigazione dell'impatto delle opere idrauliche e idroelettriche sulla migrazione di discesa dell'anguilla europea, sviluppato sulla base dei risultati sperimentali ottenuti dal progetto LIFEEL e in particolare del caso studio di Creva. Elaborato sviluppato nell'ambito dell'Azione A5 del progetto LIFEEL. Autore: G.R.A.I.A. S.r.l.

Studio per la deframmentazione del bacino idrografico del fiume Po. Elaborato sviluppato nell'ambito del progetto LIFE Con.Flu.Po, utilizzato come riferimento metodologico e base storica per l'impostazione del presente Piano. Il documento ha definito il primo quadro organico delle frammentazioni fluviali del bacino del Po secondo una logica di reticolo prioritario e gerarchizzazione strategica degli interventi. Autore: G.R.A.I.A. S.r.l.

A tali elaborati si aggiungono:

- dati di monitoraggio e rilievi territoriali sviluppati nell'ambito delle Azioni A3, A4 e D2 del progetto LIFEEL;
- cartografie GIS e basi geografiche di supporto;
- documentazione tecnica relativa agli interventi dimostrativi realizzati dal progetto;
- risultati sperimentali relativi al sistema di deterrenza luminosa installato presso la diga di Creva (Luino, VA).