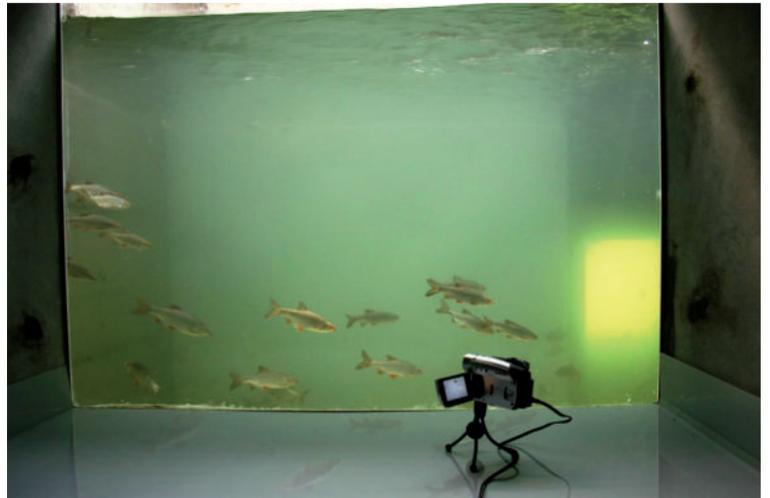
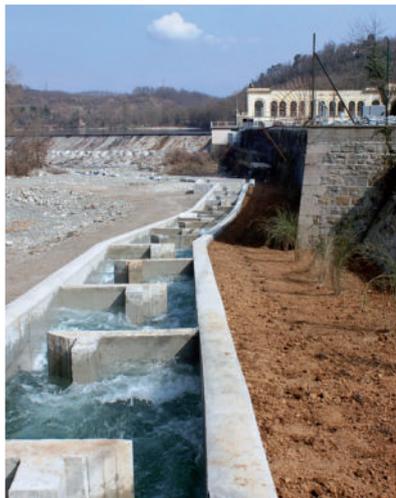


INTERVENTI IDRAULICI ITTIOCOMPATIBILI: LINEE GUIDA



Quaderni della Ricerca
n.125 - gennaio 2011

Documento redatto nell'ambito del progetto di ricerca N.1109 "Definizione di metodologie per la progettazione, la realizzazione e la gestione di opere ed interventi idraulici ittocompatibili" (PROITTIO), finanziato con il Programma regionale di ricerca in campo agricolo 2007-2009

Responsabili del Progetto:

Gaetano Gentili, Cesare Mario Puzzi e Massimo Sartorelli

*GRAIA srl - Gestione e Ricerca Ambientale Ittica Acque
Via Repubblica, 1 - 21020 Varano Borghi (VA) - Tel. +39 0332 961097 fax: +39 0332 961162*

Testi ed elaborazioni a cura di:

Stefania Trasforini, Silvia Clerici, Roberto Bendotti, Andrea Romanò, Beniamino Barengi,

Davide Ioculano, Andrea Bucchini, Silvia Porrini

*GRAIA srl - Gestione e Ricerca Ambientale Ittica Acque
Via Repubblica, 1 - 21020 Varano Borghi (VA) - Tel. +39 0332 961097 fax: +39 0332 961162
e.mail: info@graia.eu - sito web: www.graia.eu*

Coordinamento generale:

Stefano Agostoni

Regione Lombardia

Coordinamento scientifico:

Prof. Giuseppe Crosa

*Università dell'Insubria
Dipartimento di Biologia Strutturale e Funzionale
Via Dunant, 3 - 21100 Varese
e.mail: Giuseppe.Crosa@uninsubria.it*

Hanno sostenuto l'iniziativa gli Uffici Pesca delle Province di:

Bergamo, Brescia, Como, Milano, Varese

Si ringraziano inoltre per l'utile contributo fornito:

Tiziano Putelli (Ufficio Pesca – Cantone Ticino), Alberto Testa (Prov. Bergamo), Carlo Romanò (Prov. Como), Luca Avoledo (Prov. Milano), Maria Pia Viglione (Prov. Brescia)

Il materiale iconografico è tutto di proprietà della società GRAIA Srl, se non diversamente specificato

Per informazioni:

Regione Lombardia – Direzione Generale Agricoltura
U.O. Innovazione, cooperazione e valorizzazione delle produzioni
Struttura Ricerca, innovazione tecnologica e servizi alle imprese
Palazzo Lombardia - Viale Restelli – 20124 Milano
Tel: +39 02 67653790 fax +39 02 67658056
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it
Referente: Gianpaolo Bertoncini

Regione Lombardia – Direzione Generale Agricoltura
U.O. Multifunzionalità e sostenibilità del territorio
Struttura Sviluppo dell'agricoltura di montagna e dell'utilizzo sostenibile dei terreni agricoli
Palazzo Lombardia - Viale Restelli – 20124 Milano
Tel: +39 02 67656275 fax Tel: +39 02 67652576
e-mail: pesca@regione.lombardia.it
Referenti: Giuseppina Colombo, Antonella Forni

INTERVENTI IDRAULICI ITTIOCOMPATIBILI: LINEE GUIDA

*Quaderni della Ricerca
n.125 - gennaio 2011*

PRESENTAZIONE



La Direzione Generale Agricoltura ha tra le sue missioni istituzionali anche quella di sostenere la pesca professionale e sportiva praticata nei laghi e fiumi della Lombardia. Sono alcune centinaia le imprese professionali di pesca e numerose migliaia i pescatori sportivi. Queste attività vengono praticate nei principali laghi, per una superficie di circa 700 kmq, pari al 60% del volume di acqua dolce nazionale, e nei fiumi e torrenti, il cui reticolo supera i 10.000 km di sviluppo lineare.

Questo quaderno di ricerca fornisce puntuali indicazioni affinché le tante specie ittiche che vivono nelle nostre acque abbiano la possibilità di una libera e vitale circolazione, dal Po alle sorgenti dei fiumi, passando per i grandi laghi prealpini. È un obiettivo estremamente impegnativo, spesso in contrasto con lo sfruttamento industriale e civile delle acque interne. L'incremento della risorsa ittica si attua tuttavia solo migliorando l'habitat acquatico e conciliando le diverse modalità d'uso delle acque tramite scelte progettuali che diminuiscano gli impatti delle opere in alveo, sia di regimazione che di prelievo.

Il volume che ho il piacere di presentare "Interventi idraulici ittiocompatibili: linee guida" illustra alcuni dei migliori interventi realizzati per mitigare gli impatti di opere pregresse, documentando la rimozione delle impercorribilità fluviali che impediscono il completamento del ciclo vitale di diverse specie ittiche. Questi interventi non interessano infatti solo le grandi specie

migratrici, come l'anguilla e lo storione, ma anche tantissime specie che devono potersi muovere per sopravvivere.

I risultati della ricerca sono messi a disposizione di soggetti pubblici e privati che hanno competenza in materia, affinché nella valutazione dei progetti possano adottare scelte e soluzioni in grado di migliorare lo stato ecologico dei nostri corsi d'acqua nel rispetto, e anzi incrementando, la fauna ittica e la biodiversità.

Giulio De Capitani
Assessore all'Agricoltura
Regione Lombardia

PREMESSA

La fauna ittica costituisce un'importante componente della biodiversità negli ambienti acquatici, nonché un indicatore rilevante nella definizione della qualità ecologica di tali ambienti, anche ai fini della piena applicazione della Direttiva 2000/60/CE.

La salvaguardia e l'incremento dell'ittiofauna comportano innanzitutto la tutela dei suoi habitat; tale obiettivo può essere perseguito anche attraverso la definizione e l'utilizzo di modalità di intervento il più possibile conservative rispetto alle esigenze delle biocenosi presenti. A tal fine è stato concepito il presente manuale, rivolto principalmente ai progettisti, agli operatori del settore e ai tecnici delle amministrazioni pubbliche; esso, con un linguaggio semplice supportato da una nutrita iconografia, si apre alla divulgazione dell'ecologia fluviale e dei principi e delle tecniche di riqualificazione fluviale applicabili per la salvaguardia dell'ittiofauna, nei più comuni casi di criticità ambientali che in questo momento insistono sulle acque pubbliche superficiali della nostra Regione.

I contenuti della presente opera contribuiscono ad una più ampia cognizione delle condizioni di salute dei nostri corsi d'acqua e suggeriscono una serie di azioni non soltanto finalizzate a tutelare il patrimonio ittico esistente, ma rivolte anche al recupero di specie ittiche pregiate un tempo assai diffuse nelle acque locali.

La protezione della fauna ittica si può realizzare attraverso diverse tipologie di intervento, ma il mantenimento e, dove serve, il recupero qualitativo degli ambienti naturali è certamente tra le azioni di maggiore rilevanza e potenziale efficacia, se ben congegnato e realizzato. In quest'ambito la Regione Lombardia, prima con Legge Regionale del 30 luglio 2001 n. 12 "Norme per l'incremento e la tutela del patrimonio ittico e l'esercizio della pesca nelle acque della Regione Lombardia" e successivamente con la L.R. n.31 del 5 dicembre 2008, al Titolo IX "Disposizioni sull'incremento e la tutela del patrimonio ittico e sull'esercizio della pesca nelle acque della Regione", ha definito importanti indicazioni per gli interventi di mitigazione degli effetti delle captazioni idriche. In particolare, è affidata alle Province la responsabilità di esaminare ed approvare i progetti dei passaggi artificiali per pesci, che devono essere previsti per le opere di captazione idrica. Questa importante funzione offre interessanti prospettive agli Uffici Pesca delle Province, che possono così essere pienamente coinvolti in tali iniziative, ma al tempo stesso li responsabilizza ad acquisire conoscenze approfondite sulla tematica specifica. Tutto ciò premesso, il presente manuale si prefigge lo scopo di fornire delle indicazioni accurate in merito alle tecniche e alle modalità di progettazione delle principali tipologie di intervento di riqualificazione fluviale ed nell'ambito della gestione e della realizzazione di lavori in alveo secondo criteri di ittiocompatibilità.

Trattandosi di un manuale, è evidente la necessità di frequenti richiami alla letteratura di settore, di cui si è cercato di fare il migliore utilizzo, citando in ogni parte la fonte. Una importante componente del documento è comunque costituita dai casi di studio e di intervento, descritti all'interno di schede monografiche, realizzati in anni recenti, per lo più in territorio regionale, i cui aspetti sperimentali costituiscono di certo l'elemento più originale dell'opera.

SOMMARIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUZIONE..... | 9 |
| PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI OPERE IDRAULICHE ITTIOCOMPATIBILI E DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELL’HABITAT | 12 |
| 1. DIFESE SPONDALI – ARGINATURE..... | 13 |
| 1.1 Scogliera in massi rinverdata..... | 13 |
| 1.2 Copertura diffusa con astoni | 15 |
| 1.3 Palificata spondale..... | 17 |
| 1.4 Viminata spondale..... | 20 |
| 1.5 Fascine di salici e fascine sommerse..... | 21 |
| 1.6 Difesa spondale con tronchi, alberi o ramaglia..... | 23 |
| 2. INTERVENTI IN ALVEO..... | 25 |
| 2.1 Briglie di consolidamento e di trattenuta | 25 |
| 2.2 Pennelli o repellenti | 28 |
| 3. INTERVENTI DI RINATURALIZZAZIONE | 32 |
| 3.1 Massi in alveo | 32 |
| 3.2 Deflettori e costrittori | 34 |
| 3.3 Semi-tronchi..... | 37 |
| 3.4 Ricoveri sottosponda..... | 38 |
| 4. RINATURALIZZAZIONE DI HABITAT LACUSTRI | 49 |
| 4.1 Posa di alberi frondosi in fondali lacustri | 49 |
| 4.2 Posa di ceppaie..... | 50 |
| 4.3 Posa di legnaie sommerse | 52 |
| 4.4 Posa di alberelli sospesi sul fondale..... | 53 |
| 4.5 Piantumazioni di specie acquatiche sommerse ed emergenti | 54 |
| 4.6 Posa di letti di frega | 59 |
| PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI | 61 |
| 5. PERCORRIBILITÀ FLUVIALE E CONSERVAZIONE FAUNISTICA..... | 63 |
| 6. RIFERIMENTI NORMATIVI..... | 64 |
| 7. PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO DELLA PERCORRIBILITÀ FLUVIALE | 65 |
| 7.1 Censimento delle impercorribilità fluviali | 66 |
| 7.2 Individuazione delle priorità di intervento | 67 |
| 7.2.1 Proposta di un modello matematico di supporto alle decisioni | 68 |
| 7.2.1.1 Principi di base del modello | 68 |
| 7.2.1.2 Applicazione del modello | 74 |
| 7.2.1.3 Utilizzo delle indicazioni tecniche offerte dal modello ai fini della pianificazione..... | 76 |
| 7.3 Progettazione e realizzazione di passaggi artificiali per pesci – linee guida..... | 79 |
| 7.3.1 Acquisizione delle informazioni esistenti..... | 80 |
| 7.3.2 Inquadramento idrologico e idraulico..... | 80 |
| 7.3.3 Inquadramento ecologico e faunistico | 81 |
| 7.3.3.1 La fauna ittica | 83 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 7.3.4 | Individuazione e sviluppo della soluzione di progetto | 92 |
| 7.3.4.1 | Quantificazione e verifica dei parametri idrologici ed idraulici | 92 |
| 7.3.4.2 | Localizzazione del passaggio..... | 92 |
| 7.3.4.3 | Scelta della tipologia di passaggio..... | 95 |
| 7.3.4.4 | Sviluppo grafico della soluzione di progetto | 149 |
| 7.3.4.5 | Verifica del funzionamento idraulico della soluzione di progetto | 149 |
| 7.3.5 | Pianificazione della fase realizzativa e predisposizione della documentazione necessaria..... | 149 |
| 7.3.6 | Realizzazione dei passaggi: gestione dell'attività di cantiere..... | 151 |
| 7.4 | Verifica e monitoraggio della funzionalità dei passaggi | 152 |
| 7.4.1 | Metodi indiretti | 153 |
| 7.4.1.1 | Controllo dei parametri idraulici..... | 153 |
| 7.4.1.2 | Controllo degli organi meccanici..... | 154 |
| 7.4.1.3 | Rilievo dell'alveo di magra a monte e a valle dell'opera | 154 |
| 7.4.1.4 | Valutazione dell'ostruzione del dispositivo | 155 |
| 7.4.2 | Metodi diretti | 155 |
| 7.4.2.1 | Valutazione della comunità ittica a monte e a valle dello sbarramento | 155 |
| 7.4.2.2 | Monitoraggio tramite cattura e ricattura | 156 |
| 7.4.2.3 | Osservazioni comportamentali: fish tracking | 159 |
| 7.4.2.4 | Monitoraggio in continuo | 160 |

INTERVENTI A FAVORE DELLA NATURALE DISCESA A VALLE DELLA FAUNA ITTICA..... 169

| | | |
|-----|---|-----|
| 8. | PROBLEMI RELATIVI ALLA DISCESA DEI CORSI D'ACQUA: POSSIBILI SOLUZIONI O MITIGAZIONI | 170 |
| 8.1 | Soluzioni e accorgimenti per agevolare il superamento delle barriere artificiali..... | 170 |
| 8.2 | Mitigazione del fenomeno della deviazione dei pesci in canali di derivazione..... | 172 |

EFFETTI DELLE ATTIVITÀ DI CANTIERE IN SEDE FLUVIALE E MISURE DI MITIGAZIONE..... 174

| | | |
|------|---|-----|
| 9. | IMPATTO POTENZIALE DEGLI INTERVENTI NEI CORSI D'ACQUA E DEI LAVORI IN ALVEO SUGLI HABITAT NATURALI E SUI PESCI..... | 176 |
| 9.1 | Impatti sulla fauna ittica derivanti dalla fase di esercizio degli interventi in alveo..... | 178 |
| 9.2 | Impatti sulla fauna ittica derivanti dalla fase di cantiere degli interventi in alveo | 179 |
| 10. | DECALOGO DELLA PROGETTAZIONE E PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI IN ALVEO | 183 |
| 11. | BUONE PRATICHE DI ESECUZIONE DEI LAVORI IN ALVEO | 190 |
| 11.1 | Modalità e tecniche di isolamento idrico dell'area di cantiere in alveo..... | 190 |
| 11.2 | Allestimento, smantellamento e gestione del cantiere | 192 |
| 11.3 | Interventi a carico della vegetazione riparia | 193 |
| 11.4 | Recupero della fauna ittica nell'area di lavoro..... | 193 |
| 12. | BUONE PRATICHE DI MANUTENZIONE DELLA VEGETAZIONE | 194 |
| 13. | MONITORAGGIO | 196 |

LINEE GUIDA PER UNA GESTIONE ITTIOCOMPATIBILE DEL RETICOLO IDROGRAFICO ARTIFICIALE..... 197

| | | |
|-----|--|-----|
| 14. | L'ATTUALE GESTIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO ARTIFICIALE..... | 201 |
| 15. | LE ESIGENZE DI GESTIONE DELLA RETE ARTIFICIALE A CONFRONTO CON LE ESIGENZE DEGLI ECOSISTEMI NATURALI | 203 |
| 16. | LA FAUNA ITTICA NEI CANALI DELLA RETE ARTIFICIALE E LE SUE ESIGENZE | 206 |
| 17. | OBIETTIVI DI UNA GESTIONE ITTIOCOMPATIBILE..... | 206 |

| | |
|---|------------|
| 18. MODALITÀ DI GESTIONE ITTIOCOMPATIBILE | 207 |
| 18.1 Gestione ittiocompatibile delle asciutte | 207 |
| 18.1.1 Tirante idraulico minimo | 208 |
| 18.1.2 Modalità di intervento in alveo durante l'asciutta parziale..... | 210 |
| 18.1.2.1 Interventi di pulizia, dragaggio e ricalibratura del fondo | 211 |
| 18.1.2.2 Interventi che non interessano il perimetro bagnato..... | 211 |
| 18.1.2.3 Interventi sulla parte media e sommitale delle opere spondali..... | 212 |
| 18.1.2.4 Interventi sulle fondazioni delle opere spondali..... | 212 |
| 18.1.2.5 Interventi sotto il fondo del canale | 213 |
| 18.2 Interventi di riqualificazione fluviale | 213 |
| 18.3 Buone pratiche di sfalcio della vegetazione | 214 |
| BIBLIOGRAFIA CITATA | 216 |

APPENDICE A

ESEMPIO DI SCHEDA CENSUARIA DEGLI SBARRAMENTI FLUVIALI

APPENDICE B

CARTA DELLA FRAMMENTAZIONE E DELLA PERCORRIBILITÀ FLUVIALE

INTRODUZIONE

Il vastissimo reticolo idrografico della Regione Lombardia è interessato in modo capillare da opere – briglie, traverse e dighe di regolazione o derivazione, sostegni a ponti, viadotti, difese spondali, canalizzazioni - ed interventi di varia natura, che ne alterano la morfologia naturale in maniera in alcuni casi anche piuttosto radicale, con conseguenti impatti anche sull'ecosistema fluviale e sull'ittiofauna. A ciò si aggiungono tutti quegli interventi che, pur avendo un impatto modesto sulla morfologia fluviale una volta terminati, comportano una fase di cantiere che coinvolge direttamente il corso d'acqua e ne minaccia quindi temporaneamente l'integrità, a causa dell'attività dei mezzi di lavoro e del rischio di inquinamento accidentale con sostanze tossiche. Il problema riguarda pressoché tutte le tipologie di acque correnti, naturali e artificiali, dal piccolo riale alpino, in cui sono effettuati per lo più interventi di regimazione idraulica, al grande canale artificiale di pianura, che periodicamente viene svuotato per la manutenzione. Gli Enti pubblici di controllo sono spesso impegnati nella formulazione di prescrizioni, piuttosto che nella definizione di misure finalizzate alla mitigazione/compensazione dei danni ambientali prodotti dagli interventi sui corpi idrici, che talvolta sono di complessa individuazione. Di contro, chi è chiamato a progettare e/o eseguire gli interventi e le opere idrauliche in ambiente fluviale - anche quando manifesta una particolare sensibilità rispetto alle esigenze di tutela dell'ittiofauna e dell'ecosistema acquatico in generale - non sempre dispone delle informazioni tecniche specifiche per la progettazione e l'esecuzione di interventi ecocompatibili, a causa della mancanza di un adeguato supporto conoscitivo in ambito idrobiologico. Per questi motivi esistono numerose situazioni pregresse in cui gli interventi effettuati hanno prodotto alterazioni che impattano ancora, talvolta a distanza di anni, lo stato di funzionalità dell'ambiente acquatico e il cui effetto negativo sui pesci perdura nel tempo. Si ritiene quindi che, oltre a considerarsi prioritarie e di notevole interesse la definizione e l'adozione di linee guida che possano indirizzare e regolamentare la realizzazione di nuove opere e dei lavori in alveo, sia altrettanto necessario individuare soluzioni atte a mitigare gli impatti tuttora prodotti dagli interventi oggi in opera.

Dal punto di vista normativo la rilevanza del tema è sottolineata innanzitutto dalla Direttiva 2000/60/CE che, dopo aver posto quale obiettivo che *“gli Stati membri proteggono, migliorano e ripristinano tutti i corpi idrici superficiali, ... al fine di raggiungere un buono stato delle acque superficiali ...”* entro il 2015, ricorda che per *“buono stato”* è da intendersi sia quello chimico che quello ecologico e che per *“buono stato ecologico”* si intende *“espressione della qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici associati alle acque superficiali”*.



L'allegato V della citata Direttiva, in termini ancora più puntuali ed espliciti, prevede che alla classificazione dello stato ecologico di un corso d'acqua partecipino, fra gli elementi biologici, "composizione, abbondanza e struttura di età della fauna ittica" e fra gli elementi idromorfologici la "continuità fluviale", e le "condizioni morfologiche: variazione della profondità e della larghezza del fiume, struttura e substrato dell'alveo, struttura della zona ripariale".

Questi concetti sono poi stati ripresi integralmente dal D.Lgs. 152/06 e dai suoi provvedimenti attuativi successivi, in cui viene ribadito il ruolo dell'ittiofauna come elemento imprescindibile nella valutazione dello "stato di salute" dei corpi idrici e la rilevanza degli elementi di qualità idromorfologica che devono presentare "Condizioni coerenti con il raggiungimento dei valori previsti per gli elementi di qualità biologica". La tutela dell'ittiofauna e dei suoi habitat quindi non è solamente un intervento con finalità naturalistiche ma costituisce un preciso vincolo posto dalla normativa comunitaria e nazionale.

Per quanto attiene poi agli interventi nei corsi d'acqua, lo stesso Piano di Gestione del Distretto Idrografico del Fiume Po (PdGPO), adottato il 24 febbraio 2010 (deliberazione AdbPo n.1/2010), prevede una serie di misure strutturali sui reticoli naturale e artificiale a sostegno della fauna ittica, facendo espresso riferimento a misure quali: "adeguare e gestire le opere longitudinali e trasversali per la tutela della fauna ittica" sul reticolo naturale; "interventi di manutenzione e riqualificazione del reticolo idrografico artificiale, finalizzati al miglioramento ecologico, al recupero funzionale, al sostegno dei popolamenti ittici autoctoni e al controllo delle specie invasive di pianura (ad es. gambero rosso)"; "realizzazione dei passaggi artificiali per la risalita dell'ittiofauna e piena attuazione delle norme specifiche che li impongono sulle opere trasversali che interrompono la continuità longitudinale fluviale"; "realizzazione del passaggio artificiale per la risalita dell'ittiofauna in corrispondenza dello sbarramento di Isola Serafini". È inoltre bene ricordare che l'Art. 43 delle NTA del Piano di Tutela ed Uso delle Acque della Regione Lombardia, fa riferimento esplicitamente agli "Interventi di riqualificazione dei corpi idrici e degli ecosistemi connessi", individuando tra l'altro i tratti dei principali corsi d'acqua naturali significativi (punto "c" del comma 2) per i quali "deve essere valutata prioritariamente la congruità degli interventi intrapresi con gli elementi di criticità individuati al fine di promuovere azioni di recupero individuate come prioritarie" e sottolineando al comma 5 che "gli interventi di riqualificazione volti al miglioramento dell'habitat per le specie ittiche saranno definiti su proposta delle Province interessate".

Per quanto riguarda il quadro normativo più direttamente connesso all'attività di salvaguardia dell'ittiofauna, la L.R. n.31/2008 all'art. 141 prevede che:

"5. Chi intende svuotare o interrompere corsi d'acqua o bacini che non siano soggetti ad asciutte per cause naturali, compresi quelli privati in comunicazione con acque pubbliche, è obbligato, salvo quanto previsto dal comma 8, a darne comunicazione alla provincia competente per territorio almeno trenta giorni prima dell'inizio dei lavori.

6. La Provincia, entro la data di inizio dei lavori, impartisce all'interessato le prescrizioni a salvaguardia del patrimonio ittico e dispone gli adempimenti da eseguirsi a spese dello stesso per il successivo ripopolamento ittico del corpo posto in asciutta."

La DGR 23 gennaio 2004 n. 7/16065 "Disposizioni per la tutela della fauna ittica, ai sensi dell'art. 12, comma 2, della l.r. 12/2001" prevede che "le Province stabiliscano le opere esistenti che alterano l'equilibrio ecologico e necessitano di interventi di adeguamento". Inoltre, il grado di funzionalità di ogni singola struttura per la risalita dell'ittiofauna deve essere valutato ed approvato, in fase progettuale, dalla Provincia competente per territorio.

Il Documento Tecnico Regionale per la gestione ittica prevede che il Piano Ittico Provinciale indichi le azioni di salvaguardia o riqualificazione ambientale opportune o necessarie per il conseguimento degli specifici obiettivi di Piano.

In un tale quadro emerge la necessità di definire e adottare linee guida che regolino la realizzazione di nuove opere e di lavori in alveo, in modo che essi risultino ittiocompatibili ed ecosostenibili per i corsi d'acqua. Parallelamente, in un territorio vasto quale quello lombardo, caratterizzato da un ricco reticolo idrografico, ormai costellato da innumerevoli interventi ed opere di alterazione della

naturalità fluviale, risulta altrettanto prioritario anche disporre dei più efficaci e concreti strumenti conoscitivi e decisionali per la pianificazione degli interventi atti a mitigare gli impatti prodotti dalle opere già esistenti, secondo ordini di priorità d'intervento. Da queste esigenze è nata l'idea di predisporre un **unico manuale** che raccogliesse in maniera organica, sintetica e con grande senso pratico, studi ed esperienze realizzati a livello per lo più locale, al fine di fornire un esaustivo *vademecum* per la progettazione, la realizzazione ed il monitoraggio degli effetti sulla fauna ittica di opere ed interventi in ambito fluviale. Un simile documento si propone come strumento decisionale di grande utilità per tutti gli operatori coinvolti nella realizzazione di opere che interferiscono o possono interferire con l'ambiente naturale dei corsi d'acqua ed i loro ecosistemi. Tra i potenziali fruitori si riconoscono, infatti, uffici della Pubblica Amministrazione impegnati nella gestione delle risorse idriche e dell'ittiofauna; aziende elettriche; consorzi di bonifica e irrigui; consorzi di tutela delle acque; studi di ingegneria idraulica e professionisti del settore; società operanti nella realizzazione di opere idrauliche.

Il manuale costituisce il risultato di un progetto di ricerca finanziato dalla Regione Lombardia – DG Agricoltura nell'ambito del Programma di ricerca in campo agricolo 2007/2009 (progetto n. 1109; Acronimo: PROITTIO) e svolto dalla società GRAIA srl (www.graia.eu) che ha riassunto i risultati di ricerche, approfondimenti ed esperienze in tema di opere ittocompatibili in quest'unico volume.

Il documento si arricchisce di schede descrittive di progetti e lavori realizzati per la gran parte in territorio lombardo, utilizzandoli come esempi delle diverse tecniche, metodi e modalità adottabili.

Gli elementi di originalità propri di questo volume sono molteplici, riassumibili come segue.

1. Il frequente ricorso a schede illustrative di progetti realizzati, a disegni e tavole inseriti nel testo ed anch'essi tratti da lavori svolti, peraltro la gran parte all'interno dei confini regionali, offre un taglio particolarmente concreto e pratico alla descrizione delle tecniche e dei metodi adottati, rendendone più semplice la comprensione e l'applicazione.
2. Il volume contiene LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE E LA REALIZZAZIONE DI OPERE IDRAULICHE ITTIOCOMPATIBILI E DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELL'HABITAT, che mettono in particolare risalto elementi e accorgimenti e soluzioni utili a rendere tali opere il più possibile idonee ed efficaci, oltre che dal punto di vista idraulico, nel salvaguardare ed anche incrementare il patrimonio ittico autoctono.
3. Ancor più ricco e dettagliato è il capitolo dedicato alla PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI. In merito alla pianificazione degli interventi di deframmentazione fluviale, viene proposto uno strumento decisionale innovativo -peraltro già sottoposto a sperimentazione e rivisto e corretto in questa sede- di supporto alla programmazione. Riguardo invece alla descrizione delle diverse tipologie di passaggi, il principale elemento di originalità risiede senz'altro nella dovizia di dettagli e nella concretezza e praticità con cui sono proposti accorgimenti, soluzioni alternative e migliorative per le tipologie di passaggi per pesci, che più delle altre rispondono alle esigenze del territorio lombardo. Ciò è stato possibile principalmente perchè gli autori del presente manuale sono stati impegnati, a vario titolo, nella progettazione e nella verifica di funzionalità dei principali passaggi per pesci, realizzati negli ultimi dieci anni sul territorio lombardo. Peraltro, in quest'ambito, sono presentati per la prima volta, almeno per quanto riguarda il territorio regionale, i risultati del monitoraggio in continuo del funzionamento di passaggi artificiali realizzati.
4. Il volume contiene anche linee guida, con carattere di prescrizioni e di buone pratiche per la gestione dei cantieri e la realizzazione di interventi negli alvei fluviali, al fine di renderli il più possibile ittocompatibili.
5. Un ultimo capitolo è infine dedicato alla gestione della rete idrica artificiale di interesse ittico per la quale, di nuovo, sono indicate le migliori pratiche di manutenzione, intervento e gestione dei canali.
6. L'attenzione posta non solo alle tematiche di tipo tecnico, ma anche a quelle di tipo amministrativo-normativo, con particolare riguardo ai compiti cui sono chiamati gli uffici pesca provinciali, può considerarsi un ulteriore elemento di originalità del manuale.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI OPERE IDRAULICHE ITTIOCOMPATIBILI E DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELL'HABITAT

La morfologia naturale di un sistema fluviale è profondamente influenzata dalle dinamiche idrauliche che, in virtù dei processi di erosione e deposizione, comportano un continuo processo di rimodellamento dell'alveo e delle sponde.

In relazione alla necessità di utilizzare le aree adiacenti ai corsi d'acqua e di sfruttare la risorsa idrica, fin dai tempi antichi l'uomo è intervenuto sulla conformazione fluviale attraverso la costruzione di arginature spondali, briglie, interventi di risagomatura dell'alveo, opere di derivazione, ecc..

Nel presente capitolo vengono trattate le principali tipologie di intervento, soprattutto in ambito fluviale, ponendo una specifica attenzione alla trattazione di tecniche aventi lo scopo di adottare soluzioni che, oltre alla principale finalità di difesa idraulica, si pongano come obiettivo anche il rispetto delle esigenze di tutela dei preziosi habitat sottosponda, a favore delle diverse comunità ittiche che popolano i corsi d'acqua. La duplice finalità di sistemazione dei corsi d'acqua e delle relative fasce spondali e di salvaguardia degli ecosistemi, consente di intervenire sul territorio in modo più completo, poiché più consapevole non solo delle dinamiche idrauliche, ma anche dei delicati equilibri ecosistemici che caratterizzano gli ambienti acquatici, in particolare gli ambienti fluviali, soggetti ad un continuo dinamismo e dunque ad una continua evoluzione.

In linea dunque con tali finalità, le tecniche che meglio si prestano al conseguimento di obiettivi di sistemazione, nel rispetto degli ecosistemi acquatici e in alcuni casi anche diversificando e migliorando gli ambienti spondali coinvolti, realizzando opere idrauliche ittiocompatibili, possono essere in genere tutte incluse all'interno della disciplina dell'Ingegneria Naturalistica e della Riqualificazione Fluviale che, sulla base di conoscenze in merito alle caratteristiche biotecniche di alcune specie vegetali, consentono, a seconda delle varie tipologie di opere, l'utilizzo di materiale vivo o comunque di origine vegetale, come materiale principale oppure affiancato ad elementi strutturali quali massi, pietrame, ferro, ecc..

Questa sezione del manuale si articola in quattro diversi capitoli riguardanti:

- difese spondali e arginature;
- interventi realizzabili in alveo;
- interventi di naturalizzazione per lo più pertinenti gli ambienti fluviali;
- interventi di rinaturalizzazione prettamente riguardanti gli habitat lacustri.

Per la redazione di questa parte del quaderno è stata consultata la principale letteratura di settore disponibile. Si riportano nel testo esclusivamente le fonti da cui sono stati tratti spunti specifici.



1. DIFESE SPONDALI – ARGINATURE

Le difese spondali sono opere longitudinali che vengono realizzate allo scopo di stabilizzare le sponde, mettendo in sicurezza aree del territorio antropizzate. Tali finalità possono essere conseguite mediante diverse tipologie di opere. La scelta più corretta dipende dall'obiettivo prefissato, dal sito e dal tipo di corso d'acqua.

A seconda della funzione protettiva che svolgono, le difese spondali si possono distinguere in:

- Opere di tipo diffuso, che offrono una protezione dell'intera superficie della sponda interessata (ad esempio la copertura diffusa, la fascinata spondale, la palificata spondale);
- Opere di tipo lineare, che proteggono solo i segmenti di sponda messi in sicurezza (ad esempio fascine singole, viminate spondali, rulli spondali);
- Opere di tipo puntiforme, da impiegare qualora il tratto di sponda di interesse non sia erodibile (eventualmente perché già presente un'opera di tipo diffuso) e si possano dunque svolgere degli interventi puntuali (ad esempio l'inserimento di talee e ceppaie).

Nei seguenti paragrafi vengono descritte le singole tipologie di opere; dopo aver individuato le finalità principali del loro impiego, verranno descritti gli aspetti e/o le modalità realizzative che permettono loro di svolgere anche un'importante funzione di habitat di rifugio spondale, o comunque di attuare una diversificazione dell'alveo che non banalizzi le fasce spondali interessate.

1.1 Scogliera in massi rinverdita

Questo tipo di opera di difesa spondale consiste nel posizionare una schiera di massi ciclopici lungo le rive, conferendo alla sponda una superficie inclinata. Rientra dunque nelle opere di tipo diffuso. Negli spazi tra i massi vengono inseriti astoni di salice o di altre specie con analoghe capacità biotecniche che, radicando, contribuiscono alla stabilizzazione dell'opera. Trattasi di un intervento che, se mal realizzato, può avere effetti negativi sia sull'assetto idraulico del corso d'acqua, sia sull'habitat fluviale. Per evitare che la forza della corrente in prossimità del piede possa dar luogo a fenomeni erosivi e quindi scalzare alla base la scogliera, è necessario che esse siano dotate di fondazioni profonde e di soglie trasversali inserite nel fondo dell'alveo; sia la fondazione che le soglie devono essere realizzate con massi ciclopici. Durante la progettazione di questi interventi è necessario studiare bene sia la dimensione dei massi da utilizzare, sia la profondità di fondazioni e soglie, in modo che l'intervento possa essere duraturo e resistere alle piene.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Le scogliere in massi svolgono la principale funzione di protezione spondale, aumento della scabrezza delle sponde e risagomatura dell'alveo. Sono impiegate principalmente in alvei torrentizi e fluviali con alta velocità di corrente, per proteggere le sponde dall'erosione della corrente, per ridurre il rischio di esondazione e come difesa al piede in interventi di riprofilatura delle sponde. È consigliabile valutare la disponibilità di materiale in loco e gli eventuali costi per il trasporto da un luogo remoto.

In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie riguardano:

- Realizzazione dello scavo regolarizzando il piano di appoggio con pendenza inferiore a 2/3 ed eventuale posa di geotessile sul fondo di peso non inferiore a 400 g/m², per la ripartizione dei carichi.
- Creazione del piede di fondazione e creazione di una solida base su cui posare la scogliera (fondazione); la base d'appoggio viene realizzata con grossi massi (altezza consigliata di 1 - 1,5 m), in modo tale che ciascun blocco sia interrato per circa un metro al di sotto della quota di fondo alveo.
- Creazione delle soglie trasversali con massi di dimensioni analoghe a quelli utilizzati per la fondazione; per alvei di larghezza non eccessiva (10 – 15 m) le soglie trasversali devono preferibilmente essere realizzate sull'intera larghezza dell'alveo bagnato, mentre per corsi

d'acqua con larghezza maggiore è possibile limitare la lunghezza delle soglie a 10 – 15 m, anche se è comunque preferibile coprire l'intera larghezza. La spaziatura delle soglie può essere compresa tra 1 e 2 volte la loro lunghezza.

- Una volta creata la base, si può procedere alla realizzazione della scogliera posizionando in basso i massi più grossi e sopra quelli di dimensioni inferiori (pezzatura media non inferiore a 0,4 m³). Se i massi non sono di dimensioni sufficienti per resistere alle piene, è bene ancorarli mediante funi d'acciaio e tasselli di ancoraggio opportunamente dimensionati, in funzione delle caratteristiche idrodinamiche del corso d'acqua. È importante che la parte inferiore della scogliera sia realizzata ponendo i massi in modo "disordinato", in modo da massimizzare il numero di interstizi tra i massi, che costituiscono degli ottimi rifugi per la fauna ittica.
- Tra i massi è necessario collocare un misto di ghiaia e terreno vegetale ove inserire le talee. Al di sopra della linea di portata media annuale vengono inserite le talee, in genere collocando 2-10 talee/m² che preferibilmente devono avere lunghezza di 1,5-2 m, in modo da raggiungere il substrato naturale dietro la scogliera; l'operazione di messa a dimora può essere fatta in corso d'opera, in modo che l'apparato radicale raggiunga il terreno retrostante l'opera, ponendo molta attenzione alla posa dei massi superiori (eventualmente avvolgendo la parte di contatto con tessuto), per evitare il danneggiamento dei fusti; in tal caso si possono anche utilizzare talee o astoni di lunghezza maggiore fino a 2-2,50 m (scogliera di tipo chiuso). In caso contrario (scogliera di tipo aperto, che però presenta maggiore probabilità di sradicamento delle piante), la messa a dimora delle talee sarà successiva alla formazione della scogliera, mediante operazioni manuali di intasamento con terra dei vuoti presenti tra i massi.
- È preferibile realizzare l'intervento durante il periodo di riposo vegetativo delle piante e, considerato il regime torrentizio dei nostri corsi d'acqua, nei periodi di magra (in Lombardia tra luglio e settembre e tra dicembre e febbraio); escludendo dunque il periodo di magra estiva, che presenterebbe le problematiche maggiori per l'attecchimento delle piantine, il periodo migliore è rappresentato da quello tardo invernale (febbraio e marzo), anticipando i periodi di morbida e di piena.

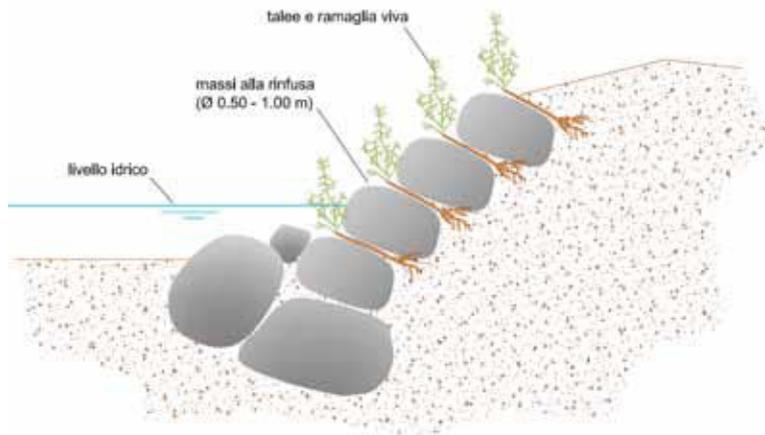
Elementi che rendono l'opera ittocompatibile

Gli interventi di contenimento dei fenomeni erosivi apportano benefici alla fauna ittica, in quanto possono rendere nuovamente fruibile l'habitat ripario, che risulta privo di valore ecologico per i pesci quando è instabile e non adeguatamente colonizzato dalla vegetazione; la prevenzione dell'erosione permette, inoltre, di limitare l'apporto di materiale fine ai corsi d'acqua, che produce torbidità e, sedimentando, genera depositi che intasano gli interstizi del substrato fluviale, danneggiando i pesci e gli invertebrati bentonici che in essi vivono.

La disposizione dei massi "alla rinfusa" aumenta la disponibilità di rifugi per pesci lungo la sponda, idonei sia a proteggere dai predatori, sia a fornire riparo dalle velocità di corrente critiche nei momenti di piena, grazie alla loro stabilità; gli interstizi tra i massi risultano particolarmente graditi da numerose specie ittiche, anche di media e grossa taglia, come la trota marmorata, la trota fario o il persico reale, oltre che dalle specie più piccole, come il vairone. La funzionalità ittica di questa struttura dipende dalla quantità di interstizi che si formano tra i massi; pertanto, nella posa è opportuno tenere in considerazione questo elemento.

La presenza di vegetazione, i cui apparati radicali si accrescono anche in prossimità della riva, contribuisce ad una diversificazione delle fasce sottosponda e, inoltre, funge da substrato per gli invertebrati acquatici e terrestri, che rappresentano una fondamentale risorsa alimentare per molti pesci. La presenza di chiome in prossimità del corso d'acqua ombreggia l'alveo, funzione che nei corsi d'acqua minori permette di evitare un eccessivo riscaldamento delle acque; i rami bassi e sporgenti, inoltre, proteggono i pesci dalla vista degli uccelli ittiofagi. Una fascia vegetata adeguatamente sviluppata in ampiezza rappresenta, infine, un filtro rispetto agli inquinanti diffusi che afferiscono al corso d'acqua per dilavamento dai terreni circostanti. I benefici ecologici descritti vanno dunque aumentando con lo sviluppo e la crescita della vegetazione.

Per quanto concerne le modalità realizzative, un elemento che contribuisce ad aumentare la funzione di opera ittocompatibile è l'impiego di **massi ciclopici irregolari**, soprattutto nella parte dell'opera che rimane sommersa, diversificando maggiormente le zone di rifugio sottosponda. Un altro elemento è rappresentato dal materiale vegetale, favorendo l'impiego di talee e astoni di maggiori dimensioni (quindi scogliere di tipo chiuso) che consentono uno sviluppo radicale più consistente (permettendo anche una maggiore resistenza e prevenendo possibili sradicamenti).



Rappresentazione grafica di un intervento tipo.



Fiume Toce (VCO). Banchi di vaironi ammassati in corrispondenza di una scogliera realizzata a protezione della sponda fluviale.

1.2 Copertura diffusa con astoni

La copertura diffusa con astoni è un'opera di difesa spondale di tipo diffuso, che consiste nel rivestimento della sponda da proteggere con degli astoni opportunamente ancorati al terreno e disposti perpendicolarmente alla direzione del deflusso idrico; nell'arco di poco tempo gli astoni vegetano e consolidano in modo omogeneo la sponda fluviale, difendendola anche dall'urto della corrente.

Esistono due tipologie di realizzazione per questo tipo di opera: **copertura semplice** e **copertura armata**, che garantisce una maggiore protezione al piede dell'opera.

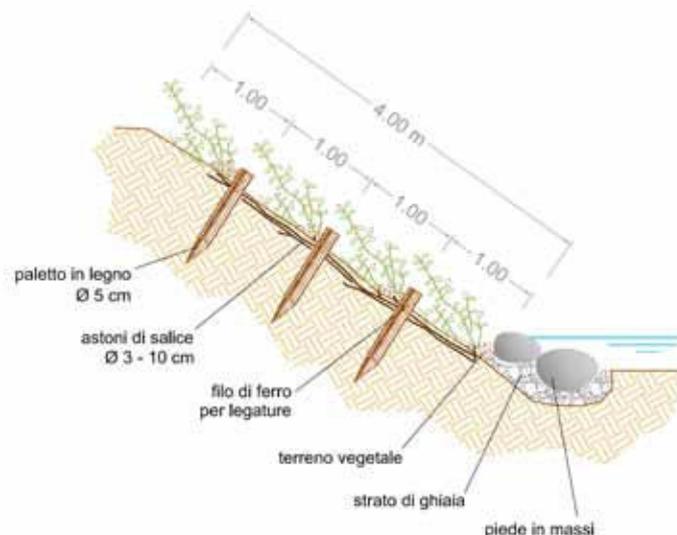
Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

È un'opera di protezione delle superfici spondali dall'erosione e dagli agenti atmosferici. Si mostra particolarmente efficace nella protezione delle sponde esterne, o di sponde esposte ad alte sollecitazioni idrauliche. È un intervento particolarmente adatto per aree estese (sconsigliato per fenomeni di erosione locale) e favorisce l'insediamento di vegetazione riparia naturale. Il piede dell'opera, che deve essere protetto dall'azione erosiva del corso d'acqua, può essere realizzato mediante alcune soluzioni quali massi, palificata spondale, fascine sommerse, a seconda del tipo di corso d'acqua.

In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie riguardano:

- Modellamento preliminare della sponda, da eseguire con un escavatore, in modo da spianare la superficie di intervento ed eventualmente ridurre la pendenza (non superiore a 30-35°).
- Eventuale realizzazione di uno scavo al piede della sponda (tipo fosso), in corrispondenza dell'alveo di magra, largo 40 cm e profondo 30 cm.
- Dopo avere preparato il fondo, si procede all'infissione dei pali nel terreno: i pali vanno disposti in file parallele alla corrente e non devono sporgere più di 20 cm da terra; le file devono distare tra loro circa 1 m ed i pali vanno conficcati ad una distanza compresa tra 1 e 3 m, a seconda della pressione idraulica.
- Dopo avere sistemato i pali, si dispongono gli astoni sulla superficie di intervento, ponendoli in senso trasversale rispetto alla corrente e con l'estremità più grossa interrata oppure a contatto con l'acqua, ancorandoli alla parte sporgente dei paletti e al piede dell'opera mediante fili di ferro zincato e copertura con uno strato di circa 7 – 8 cm di terreno vegetale, facendo in modo che il 50% della superficie degli astoni emerga dal terreno per permettere la crescita della nuova gemma.
- Riempimento della base del fosso con ciottoli sovrastati da pietrame di pezzatura media, in modo da favorire l'afflusso di acqua agli astoni. La protezione del piede viene realizzata con pietrame (pezzatura maggiore di 0,2 m³) in uno o più ordini sopra i ciottoli. Per migliorare la stabilità dell'opera è possibile procedere alla messa in opera dei pali di larice o castagno scortecciati davanti ai massi.
- Il piede, oltre che essere costituito da pietrame, può essere eventualmente sostituito da tronchi longitudinali scortecciati e trattenuti da piloti in ferro infissi nell'alveo, oppure si può impiegare una gabbionata cilindrica, posando una rete metallica, poi riempiendola di pietrame con pezzatura superiore alla maglia della rete e infine chiudendola e legandola.
- Nel caso di **coperture armate**, i massi posti alla base della sponda devono essere forati ed al loro interno va inserita una barra d'acciaio, munita di un'asola e fissata con malta antiritiro. Infine, per mezzo del cavo d'acciaio, si provvede a fissare i massi tra di loro, a dei pali di legno e a dei profilati metallici infissi nell'alveo ogni 2 – 5 m.
- È preferibile realizzare l'intervento durante il periodo di riposo vegetativo delle piante e, considerato il regime torrentizio dei nostri corsi d'acqua, nei periodi di magra (in Lombardia tra luglio e settembre e tra dicembre e febbraio); escludendo dunque il periodo di magra estiva, che presenterebbe le problematiche maggiori per l'attecchimento delle piantine, il periodo migliore è rappresentato da quello tardo invernale – inizio primaverile (febbraio e marzo), anticipando i periodi di morbida e di piena.

Rappresentazione grafica di un intervento tipo.



Elementi che rendono l'opera ittocompatibile

Il significato ecologico di questo tipo di intervento è quello di ricostituire la vegetazione riparia e l'ecosistema ad essa legato; gli apparati radicali, che si accrescono in prossimità della riva, contribuiscono ad una diversificazione delle fasce sottosponda, consentono lo sviluppo del *periphyton* e fungono da substrato per gli invertebrati acquatici. La presenza di chiome in prossimità del corso d'acqua ombreggia l'alveo e protegge i pesci dai predatori. L'effetto ecologico va dunque aumentando con lo sviluppo e la crescita della vegetazione.

In merito alle modalità realizzative, un elemento che contribuisce ad aumentare la funzione di opera ittocompatibile è la **disposizione alla rinfusa del pietrame posto al piede dell'opera**, diversificando maggiormente le zone di rifugio sottosponda.



Vista frontale di un intervento di copertura diffusa con astoni appena realizzato.

1.3 Palificata spondale

La palificata è un'opera di difesa spondale di tipo diffuso, realizzata con pali di legno posti su diversi livelli tra loro perpendicolari, in modo da creare una struttura a celle. In ambito fluviale, le palificate vengono realizzate sulle sponde e possono essere a parete singola (una sola serie di pali paralleli alla corrente) o doppia (oltre alla fila di pali esterna, si realizza un secondo strato verso la sponda). All'interno delle celle è opportuno collocare piante o talee (palificate vive), con le quali stabilizzare l'intera struttura.

Possono essere impiegate sia in tratti meandrici soggetti ad erosione, sia su sponde rettilinee instabili, oppure su sponde dove ci siano già stati fenomeni erosivi e piccole frane. Le palificate doppie sono senz'altro più onerose di quelle singole, in quanto richiedono uno scavo più profondo ed una maggiore quantità di materiale di riempimento. Questa tipologia costruttiva consente però di raggiungere altezze maggiori ed è in grado di resistere meglio alle spinte del terreno. In contesti di intervento in cui ci sono fenomeni erosivi in atto o comunque dove la forza della corrente non può essere considerata trascurabile, è sicuramente preferibile la realizzazione di palificate doppie.

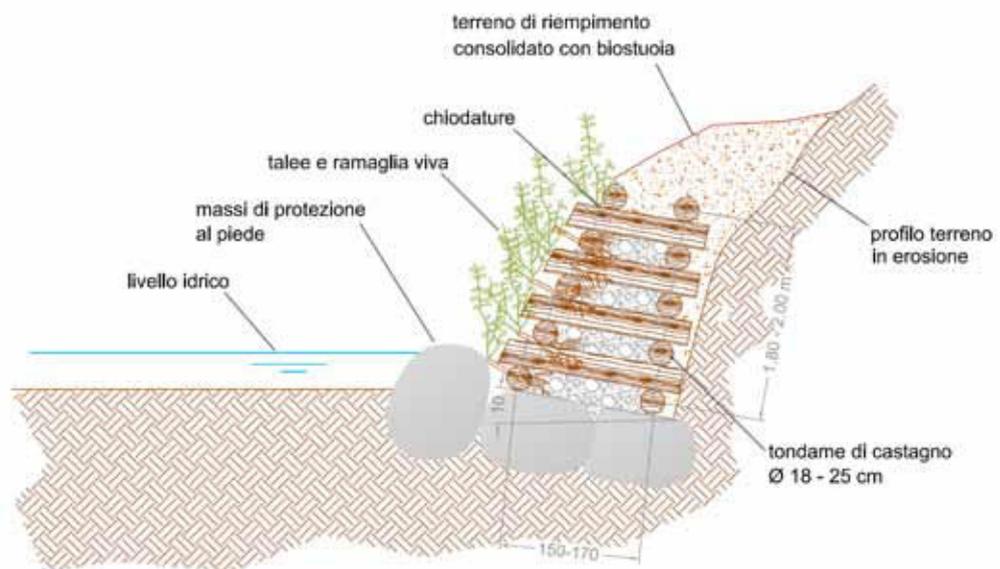
Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Tale intervento viene realizzato con lo scopo di difendere e stabilizzare le sponde, creando allo stesso tempo una copertura delle stesse. L'utilizzo di elementi vegetali è fondamentale in quanto, dopo che l'ossatura in legno si degrada, l'apparato radicale delle piante continua a mantenere stabile la sponda.

In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie riguardano:

- Realizzazione del piano di posa, che deve avere un'inclinazione di circa 10° verso monte.
- Una volta preparato il piano di posa, più profondo se la palificata è doppia, si posa la prima fila di legname, parallela alla direzione della corrente. Si posa quindi la seconda fila, ortogonale alla prima, curando il fissaggio con il legname sottostante, che deve essere fatto con tondini in ferro e sagomando opportunamente i tronchi (si veda la figura riportata). Con lo stesso procedimento si realizzano gli strati successivi, posizionando i tronchi in modo che il fronte della struttura abbia un'inclinazione di circa 20° - 30°, garantendo l'adeguato sviluppo della vegetazione. I tronchi perpendicolari alla direzione di corrente devono essere posizionati in modo da essere tra loro sfasati, migliorando così la stabilità dell'opera. I tronchi paralleli alla direzione di corrente vengono disposti in successione e collegati l'un l'altro tramite la creazione di un piccolo incastro; le giunture che vengono a crearsi vanno disposte sfalsate tra una fila e l'altra per aumentare la stabilità strutturale.
- Ogni 3-4 strati si procede al riempimento della struttura con ciottolame e materiale terroso, avendo cura di compattare bene il terreno. Contemporaneamente, deve essere effettuato il posizionamento delle talee o delle piantine, che devono essere collocate in posizione coricata e raggiungere preferibilmente il terreno naturale posto dietro all'opera. Le talee posate dovranno avere una lunghezza pari alla profondità della palificata (1,5-3 m), onde consentire una radicazione profonda, ed è sufficiente che emergano fuori terra per 10-30 cm.
- Se la palificata viene realizzata in una zona di erosione, è opportuno collocare dei massi al piede dell'opera, che devono essere adeguatamente fissati con pali in legno o profilati metallici infissi nel terreno per almeno 3/4 della loro lunghezza. I massi, se sono di forma irregolare e opportunamente distanziati, costituiscono anche un buon rifugio per i pesci.
- È preferibile realizzare l'intervento durante il periodo di riposo vegetativo delle piante e, considerato il regime torrentizio dei nostri corsi d'acqua, nei periodi di magra (in Lombardia tra luglio e settembre e tra dicembre e febbraio); escludendo dunque il periodo di magra estiva, che presenterebbe le problematiche maggiori per l'attecchimento delle piantine, il periodo migliore è rappresentato da quello tardo invernale – inizio primaverile (febbraio e marzo), anticipando i periodi di morbida e di piena.

Rappresentazione grafica di un intervento tipo di palificata doppia.





Intervento di difesa spondale mediante palificata con pietrame come materiale di riempimento (Foto: Tiziano Putelli, Ufficio Caccia e Pesca, Cantone Ticino, Svizzera).



A sinistra: riempimento della palificata con pietrame. A destra: vista frontale di una palificata in costruzione.



A sinistra: palificata viva. A destra: posa di geostuoia e consolidamento della scarpata.



Intervento di difesa spondale mediante palificata in legno, sull'affluente destro del Fiume Olona a Varese, zona Belforte.

Elementi che rendono l'opera ittocompatibile

Tra gli effetti secondari vi può essere, specialmente se si interviene su sponde già soggette ad erosione, un miglioramento dell'habitat spondale, poiché le palificate possono costituire dei discreti rifugi per la fauna ittica, grazie alla struttura articolata in celle sovrapposte. Inoltre, come accennato, la presenza di massi posizionati al piede, soprattutto se di forma irregolare, danno vita a importanti zone di rifugio per pesci. L'affermazione e la crescita delle talee costituisce un ulteriore elemento di diversificazione: gli apparati radicali che si accrescono in prossimità della riva contribuiscono ad una diversificazione delle fasce sottosponda, consentono lo sviluppo del *periphyton* e fungono da substrato per gli invertebrati acquatici. La presenza di chiome in prossimità del corso d'acqua ombreggia l'alveo e protegge i pesci dai predatori. L'effetto ecologico va dunque aumentando con lo sviluppo e la crescita della vegetazione.

1.4 Viminata spondale

La viminata spondale è un'opera di stabilizzazione lineare della sponda mediante l'impiego di un intreccio di verghe vive, che vengono fissate al terreno tramite picchetti di legno, infissi in precedenza nel terreno lungo la sponda. La disposizione delle viminate può avvenire con intreccio orizzontale o diagonale delle verghe e procedendo nella posa delle stesse nella medesima direzione dei deflussi idrici. Tale tipologia d'opera determina un immediato consolidamento su strati superficiali incoerenti e soggetti a fenomeni erosivi, per un effetto di contenimento meccanico del materiale. Grazie all'impiego di materiale vivo, lo sviluppo radicale contribuisce a migliorare l'effetto consolidante.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Data la limitata altezza che tale opera dovrebbe avere (ottimale è mantenere un'altezza di circa 50 cm), essa si presta bene ai fini del consolidamento al piede lungo corsi d'acqua minori e in interventi di risanamento spondale in ambito lacustre con funzione di stabilizzazione di tratti soggetti ad erosione. Le viminate vengono utilizzate per creare dei piccoli terrazzamenti o sostegni spondali degli strati superficiali del terreno. La radicazione delle talee ha un ruolo stabilizzante evidente nelle viminate vive ben cresciute.

In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie riguardano:

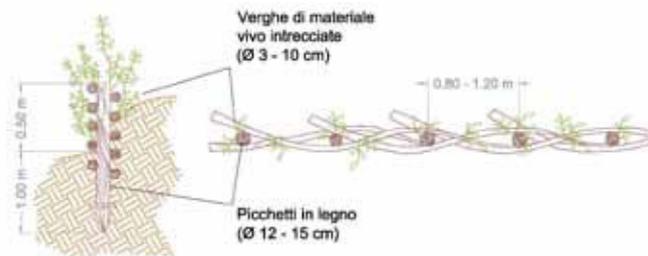
- Posa di picchetti di legno anche vivi, con interasse di 1-1,2 m e diametro di 12-15 cm, che vengono infissi nel terreno per almeno i 2/3 della loro lunghezza; si intrecciano delle verghe di salice robuste e flessibili tra il lato esterno e interno della scarpata, iniziando dall'estremità più spessa del ramo dietro il palo, e preferibilmente creando un solco nel terreno per favorire la radicazione; le altre verghe sono collocate o fuori terra o interrate (parzialmente o completamente), intrecciando circa da 3 a 8 verghe una sopra l'altra. I paletti non devono sporgere più di 5 cm al di sopra dell'intreccio.
- Nel caso di rischio di scalzamento al piede, la parte basale può essere protetta mediante l'uso di strati di ramaglia o fascine, in tal caso realizzando habitat preziosi per l'ittiofauna. Posteriormente alla viminata si rinalza la terra in modo che le verghe possano cacciare.
- In ragione dello sviluppo della vegetazione e dell'efficacia lineare della viminata, essa non dovrebbe mai essere costruita con un'altezza superiore a 50 cm.
- Lungo la scarpata possono essere realizzate più file di viminate, distanziate generalmente di 1,5-2 m, che possono essere disposte orizzontalmente lungo la scarpata oppure in diagonale a forma di rombo o quadrangolari, aumentando la capacità antierosiva.
- A monte della struttura si rinalza il terreno per riempire i vuoti e consentire la radicazione delle verghe.
- Se l'intervento interessa le rive del corso d'acqua è preferibile realizzare l'intervento durante il periodo di riposo vegetativo delle piante e, considerato il regime torrentizio dei nostri corsi d'acqua, nei periodi di magra (in Lombardia tra luglio e settembre e tra dicembre e febbraio); escludendo dunque il periodo di magra estiva, che presenterebbe le problematiche maggiori per l'attecchimento delle piantine, il periodo migliore è rappresentato da quello

tardo invernale – inizio primaverile (febbraio e marzo), anticipando i periodi di morbida e di piena. Diversamente, se l'intervento interessa la scarpata fluviale, un altro momento favorevole a garantire l'attecchimento delle verghe è il periodo autunnale, prima che il terreno geli (ottobre-novembre).

Elementi che rendono l'opera ittocompatibile

Il significato ecologico di questo tipo di intervento è quello di ricostituire la vegetazione riparia e l'ecosistema ad essa legato; la fauna ittica viene favorita dall'ombra e dalla protezione fornita dalla vegetazione, oltre che dallo sviluppo del *periphyton*.

La presenza al piede dell'opera di fascine o strati di ramaglia contribuisce a diversificare maggiormente le zone sottospoonda e dunque a creare zone di pregio, quali rifugi per l'ittiofauna. Questo tipo di ripari è particolarmente gradito alle specie ittiche di piccola taglia (vaironi, sanguinerole, triotti ecc.), e agli stadi giovanili di quelle più grandi (p.e. avannotti di trota) e ai macroinvertebrati bentonici, che trovano nella vegetazione sia habitat che nutrimento. Possono inoltre risultare utili come substrato riproduttivo per le specie ittiche fitofile, che depongono le uova sulla vegetazione sommersa.



Rappresentazione grafica di un intervento tipo di viminata spondale. Prospetto e planimetria.



Esempi di intervento realizzato.

1.5 Fascine di salici e fascine sommerse

Le fascine sono un'opera di stabilizzazione lineare per il consolidamento al piede di sponde fluviali e lacustri. Le fascine sommerse sono idonee soprattutto alla protezione al piede della scarpata, mentre le fascine vive di salice proteggono scarpate di rive con pendenze ridotte, esposte ad alte sollecitazioni. Le fascine vengono legate in più punti e poi infisse nel terreno con picchetti di legno. Grazie all'impiego di materiale vivo, lo sviluppo radicale contribuisce a migliorare l'effetto consolidante. Vengono di preferenza realizzati in corsi d'acqua con portate e livello medio

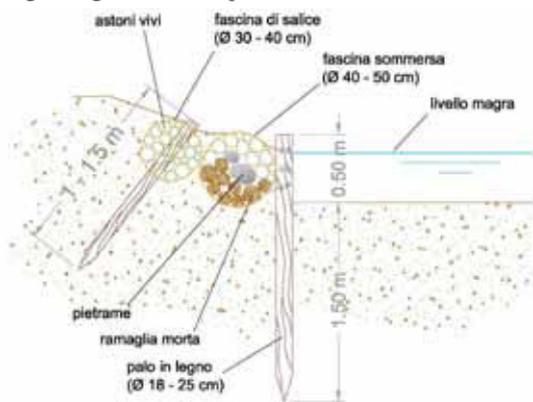
relativamente costanti e generalmente in combinazione con altre opere di difesa spondale.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Le fascine vengono utilizzate per ridurre l'erosione spondale, preferibilmente in ambienti in cui la velocità dell'acqua è ridotta e l'effetto erosivo è più dovuto al moto ondoso che non alla forza della corrente (ad esempio laghi o corsi d'acqua di pianura navigabili, in cui le piene non comportano un aumento significativo della velocità di corrente). In seguito alla loro realizzazione generano un immediato consolidamento della sponda, che si rafforza con la crescita e dunque con la radicazione delle verghe vive. In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie per la realizzazione di fascine vive riguardano:

- Costruzione delle fascine impiegando rami di salice di varie grandezze (diametro minimo di 3 cm), che vengono legati insieme con filo di ferro ogni metro, fino a creare dei fasci di salice di diametro di circa 30-40 cm con una lunghezza di 2-3 m fino a 4 m.
- Formazione di un solco poco profondo (20-60 cm) e posa della fascina, in modo tale che parte di essa venga a trovarsi nel terreno e in acqua al livello di portata media.
- Ancoraggio della fascina con pali di salice vivi o con barre di acciaio (lunghezza di circa 1,5 m) infissi nel terreno e passanti attraverso la fascina stessa, posti ad una distanza l'uno dall'altro di circa 1 m, orientati alternativamente verso monte e verso valle rispetto alla fascina.
- In seguito alla posa, le fascine vengono riempite e coperte con uno strato di 3-4 cm di ghiaia fluviale sabbiosa, affinché possano germogliare e siano protette contro l'essiccamento.
- Per aumentare la diversità delle specie all'interno delle fascine di salice, si possono inserire singole latifoglie legnose con capacità di radicazione avventizia dal fusto.

Rappresentazione grafica di una fascina di salici e di una fascina sommersa.



Intervento realizzato con fascine di salici.



In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie per la realizzazione di fascine sommerse riguardano:

- Costruzione delle fascine impiegando ramaglia morta robusta di diametro di circa 30-60 cm, legate insieme con filo di ferro ogni metro.
- Affinché affondino in acqua, le fascine vengono in genere appesantite collocando all'interno massi o tondini in ferro.
- L'ancoraggio delle fascine avviene a pali di legno precedentemente infissi sul fondale.
- È preferibile realizzare l'intervento durante il periodo di riposo vegetativo delle piante e, considerato il regime torrentizio dei nostri corsi d'acqua, nei periodi di magra (in Lombardia tra luglio e settembre e tra dicembre e febbraio); escludendo dunque il periodo di magra estiva, che presenterebbe le problematiche maggiori per l'attecchimento delle piantine, il periodo migliore è rappresentato da quello tardo invernale – inizio primaverile (febbraio e marzo), anticipando i periodi di morbida e di piena.

Elementi che rendono l'opera ittiocompatibile

Il significato ecologico di tale opera è molto importante e può anche costituire la finalità principale della realizzazione della tipologia: creare ambienti di rifugio indispensabili per la fauna ittica, soprattutto per le specie di piccola taglia e gli stadi giovanili delle specie di taglia maggiore. Le fascine possono anche essere colonizzate dalla comunità macrobentonica e dal *periphyton*, divenendo ambienti di approvvigionamento.

1.6 Difesa spondale con tronchi, alberi o ramaglia

La presente tipologia di opera di difesa spondale rientra tra quelle di tipo puntiforme, il cui principale vantaggio è insito nel fatto di utilizzare materiale reperibile in loco e che spesso è comunque necessario rimuovere perché interferisce con il corretto deflusso dell'acqua (tronchi e radici trasportati dalle piene che si fermano nell'alveo fluviale). Gli interventi di questo tipo prevedono che il materiale disponibile venga ancorato alla sponda da proteggere in vari modi: pali verticali in alveo, pali orizzontali infissi nella sponda, cavi d'acciaio, ecc.. L'intervento può essere effettuato con diversi materiali, in base alla disponibilità e agli obiettivi che si intendono perseguire. Le principali tipologie di intervento sono: la copertura con alberi e la copertura con ramaglia.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Tali interventi di tipo puntiforme hanno valore di opere di protezione spondale e ripristino della copertura sulla sponda emersa, dove questa è carente. Oltre a tale impiego, essi possono essere realizzati per un principale scopo ecologico, favorendo la creazione di nicchie e aree sottosponda, preziose e gradite all'ittiofauna. Impiegando tronchi e alberi interi, questi possono anche svolgere una funzione di deflettori restringendo la sezione di deflusso idrico.

Le principali tipologie e modalità realizzative di intervento sono:

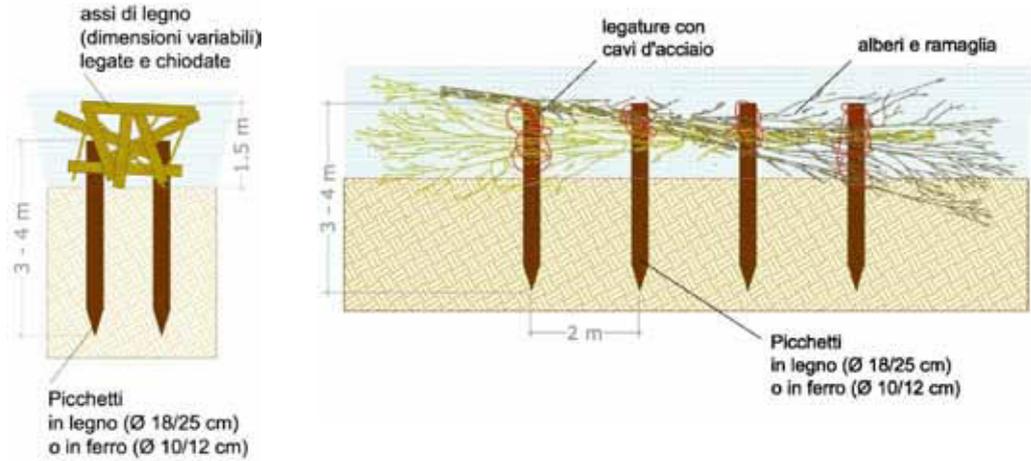
- **Copertura con alberi:** consiste nell'ancorare alla sponda degli alberi interi, posizionando i cimali verso valle; con questo intervento si ottengono gli stessi effetti visti al punto precedente, più un effetto "deflettore", che può essere modificato regolando l'inclinazione dell'albero rispetto alla direzione di deflusso. Poiché è raro trovare alberi interi già caduti, per questo intervento è solitamente necessario tagliare un albero con le caratteristiche necessarie.
- **Copertura con ramaglia:** in questo caso la copertura spondale viene ripristinata ponendo uno strato di ramaglia morta e viva, trattenuta da una fila di pali in legno, contro la sponda in erosione.

Elementi che rendono l'opera ittiocompatibile

Come accennato, il significato di tali interventi può diventare in preminenza di tipo ecologico. La presenza di alberi interi e/o ramaglia, meglio se più ramificati, costituiscono ottimali rifugi per

pesce: le nicchie presenti tra i rami risultano particolarmente gradite a numerose specie ittiche, anche di media e grossa taglia. La funzionalità ittica di queste strutture dipende dalla quantità e dalla diversificazione di nicchie che si formano; pertanto, nella posa è opportuno tenere in considerazione questo aspetto.

Sezioni tipo di interventi con assi di legno (a sinistra) e ramaglia viva e morta (a destra) per la protezione spondale.



Esempio di un intervento di difesa spondale con l'utilizzo di ramaglia, in località Baggero nel Comune di Merone (CO).



A sinistra: esempio di un intervento di difesa spondale con l'utilizzo di assi di legno, in località Baggero nel Comune di Merone (CO).



A destra: posa e ancoraggio di alberi lungo la sponda del Fiume Toce (VCO).

2. INTERVENTI IN ALVEO

In ambito fluviale, le opere trasversali possono essere fondamentalmente di due tipi: opere finalizzate alla creazione di un vaso o alla derivazione idrica dal corso d'acqua (dighe, traverse di derivazione, filarole, ...) e opere finalizzate alla stabilizzazione del profilo dell'alveo e alla riduzione dell'energia della corrente. In questo capitolo vengono considerate le opere del secondo tipo, ossia le opere realizzate con finalità di difesa idraulica.

Le opere trasversali di difesa idraulica vengono solitamente realizzate per le finalità di seguito elencate:

1. riduzione della forza erosiva della corrente, ottenuta creando salti localizzati in cui viene dissipata l'energia cinetica della corrente;
2. contenimento del trasporto solido, in parte dovuto all'abbattimento dell'energia cinetica di cui al punto precedente, in parte derivante dalla presenza delle opere stesse (corpo della briglia) o di tratti a pendenza estremamente ridotta a monte delle opere trasversali che favoriscono la sedimentazione;
3. stabilizzazione del fondo dell'alveo, solitamente in corrispondenza di pile di ponti o di opere di difesa spondale longitudinali.

Le opere realizzate per le finalità di cui ai punti 1 e 2 sono caratterizzate dalla creazione di salti localizzati, spesso in successione tra loro, che conferiscono al tratto fluviale di intervento un profilo in cui si alternano tratti a pendenza estremamente ridotta e tratti a pendenza molto elevata (andamento a scalini). In questo modo è possibile concentrare a valle degli sbarramenti la dissipazione dell'energia posseduta dalle acque correnti, riducendo l'entità dei processi erosivi lungo il profilo dell'alveo. Le opere di cui al punto 3 possono invece essere sommerse o semisommerse, e quindi modificare in modo ridotto il profilo dell'alveo, oppure emerse. In questo secondo caso possono essere assimilate alle opere di cui ai punti 1 e 2, anche se in questo caso le opere trasversali sono solitamente isolate e non in successione come illustrato per i casi precedenti.

Il gradonamento del letto fluviale mediante la costruzione di briglie consente di ridurre la pendenza dell'alveo fra una briglia e la successiva, per raggiungere condizioni di deflusso delle acque compatibili con la stabilità del materiale trasportato.

È importante sottolineare che tali dispositivi possano costituire un ostacolo invalicabile per la fauna ittica che vuole risalire il corso d'acqua; pertanto, interventi di questo tipo vanno pianificati in tratti di corsi d'acqua in cui sono già presenti altre discontinuità naturali che impediscono la risalita dei pesci, oppure è necessario prevedere anche dei dispositivi per la risalita dei pesci. In alcuni casi particolari tali interventi vengono invece realizzati proprio per impedire lo spostamento dei pesci da valle verso monte.

2.1 Briglie di consolidamento e di trattenuta

Le briglie sono opere trasversali impiegate normalmente in alvei torrentizi con lo scopo di limitare il trasporto solido e ridurre la capacità erosiva della corrente.

La presenza di una briglia ha un effetto rilevante tanto sulle condizioni di monte, quanto su quelle di valle del tratto in cui viene realizzata, pertanto richiede valutazioni molto attente sia rispetto agli effetti di tipo idraulico, sia per quelli di carattere più ambientale. Questo tipo di opera può venire realizzata con forma e materiali differenti, ma tutte le tipologie debbono essere progettate seguendo alcuni criteri comuni. Si dovranno dunque eseguire:

- **verifiche idrauliche ed idrodinamiche:** verifica del corretto deflusso delle portate, verifica dell'assenza di erosione e scalzamento a valle, verifica di assenza di sifonamento;
- **verifiche statiche:** verifiche di moto rigido come opera di sostegno, considerando varie condizioni di carico che consentano di tenere conto anche di eventi quali l'impatto di colate detritiche.

La struttura delle briglie può essere realizzata secondo varie tipologie: per forma, per modo di resistere e per materiali. Si possono così avere: briglie a gravità e ad arco; di conglomerato di cemento semplice o armato e di muratura di pietrame, di gabbioni, in legname, in terra.

La struttura dipende anche dalla forma e dal tipo dei materiali trasportati (pietrame e massi, ma anche alberi o tronchi). Si distingueranno allora: le classiche briglie chiuse oppure aperte, selettive e filtranti, briglie frangicolata e per la trattenuta del materiale galleggiante.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Le tipologie e dunque l'impiego delle briglie sono vari e con differenze notevoli sia riguardo la finalità per cui vengono realizzate che la struttura e le dimensioni dell'opera.

In merito alle finalità si possono distinguere due grandi categorie di briglie: le briglie di trattenuta e le briglie di consolidamento.

Le **briglie di trattenuta** sono opere trasversali che intercettano il trasporto solido ed il materiale flottante in maniera pianificata ed in luoghi dove periodicamente sia possibile asportare i sedimenti. Sono strutture in genere realizzate in materiale cementizio, denominate "briglie aperte", o briglie selettive o filtranti. Hanno la caratteristica di lasciare passare l'acqua trattenendo i sedimenti in carico alla corrente ed il materiale flottante. Le diverse tipologie si adattano a differenti caratteristiche del regime dei corsi d'acqua e del tipo di trasporto solido. Se ben progettate, le briglie per il trattenimento dei sedimenti vengono ripulite dal materiale più fine dalla corrente stessa nei periodi di morbida.

Le **briglie di consolidamento** sono opere trasversali al torrente, sporgenti dall'alveo nel quale sono fondate. Questa categoria di briglie comprende varie tipologie che vengono adottate a seconda delle condizioni morfologiche, delle dimensioni che debbono assumere e dei materiali a disposizione. Lo scopo di tali opere è la creazione di punti fissi lungo il profilo dell'alveo cui viene data una configurazione pressoché definitiva, mediante una sistemazione a gradinata, correggendo il profilo longitudinale di un torrente allo scopo di ridurre la pendenza.

Le briglie di consolidamento possono avere dimensioni differenti a seconda delle caratteristiche morfologiche dell'alveo: nelle aste secondarie strette e ripide, le briglie sono generalmente più piccole e ravvicinate, mentre nel fondovalle principale assumono dimensioni maggiori.

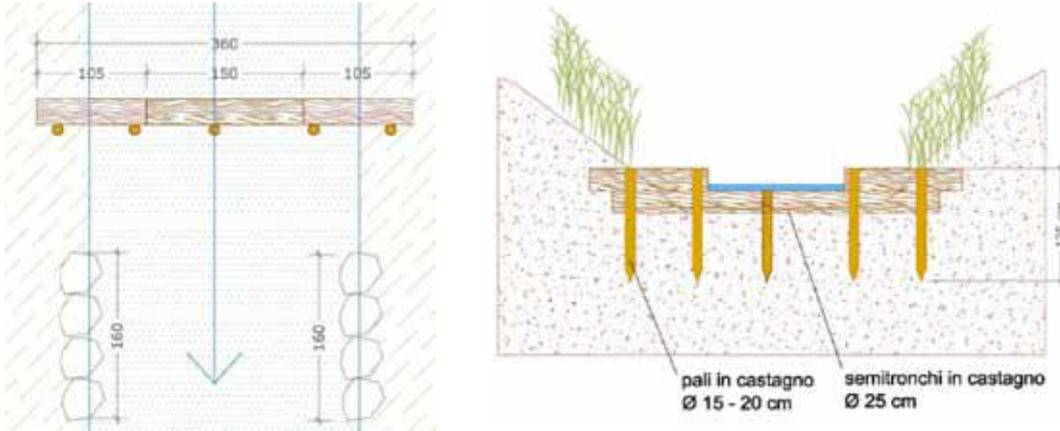
Questo tipo di sistemazioni richiede interventi di manutenzione costante per evitare che il collasso di una o più briglie, degradatesi possa portare all'improvviso svuotamento dei materiali accumulatisi con conseguenze anche gravi (APAT, 2003).

Nell'ambito del presente lavoro, maggiore interesse rivestono le tecniche di ingegneria naturalistica. Rispetto alle categorie citate, le briglie di trattenuta consistono generalmente in manufatti, anche di notevoli dimensioni, che, per conseguire l'effetto desiderato, devono essere realizzati in calcestruzzo armato, spesso accompagnato da elementi tubolari o putrelle in acciaio (ad esempio per la realizzazione di briglie selettive a pettine).

Al contrario, tra le briglie di consolidamento, in contesti di sistemazione dei bacini montani, trovano largo impiego le briglie e le soglie in pietrame e legname. Per questa specifica tipologia, vengono identificate in maggiore dettaglio le caratteristiche strutturali, oltre ad identificare quegli elementi che possono anche renderle ittocompatibili. In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie per la realizzazione di **briglie in legname e legname/pietrame** sono:

- In primo luogo è necessario creare un piano di posa in pietrame, che deve prolungarsi di almeno 4-5 m verso valle (lunghezza variabile in funzione del dislivello indotto dalla briglia), per poter dissipare l'energia dell'acqua che sfiora oltre la briglia.
- Dopo aver creato la base, si procede alla posa dei tronchi che devono essere fissati tra loro con incastri e chiodi. I pali devono essere anche fissati in modo adeguato alle sponde del corso d'acqua, penetrando in profondità. La struttura in legno può essere più o meno fitta in funzione del tipo di briglia che si intende realizzare: nel caso di briglia in legname, sia i pali longitudinali che quelli trasversali devono essere tra loro affiancati; nel caso di briglia in legname e pietrame, l'interasse deve essere di circa 1-1,5 m e bisogna progressivamente riempire il cassone con materiale lapideo.
- La copertura della briglia (gaveta) deve essere realizzata con tondelli di legname (8-10 cm). Occorre ricordare che, specialmente nel periodo immediatamente successivo alla loro realizzazione, le briglie sono piuttosto permeabili e che il funzionamento a regime lo raggiungono solo qualche anno dopo la loro realizzazione.

Le **soglie** possono essere realizzate con diverse modalità: a tronco singolo, a tre tronchi, a piramide, a tronchi sovrapposti, a "K", con reti metalliche o con materassi. Per quanto riguarda le modalità costruttive si raccomanda di ancorare adeguatamente l'opera alle sponde e al fondo dell'alveo. È inoltre opportuno effettuare un'adeguata protezione da possibili scalzamenti a valle (ad esempio con massi di medie dimensioni) e a monte (ponendo una rete metallica sormontata da massi).



Rappresentazione grafica di un intervento tipo. Soglia in legname.



Soglia in legname realizzata nel Fiume Foce a Valbrona, (CO).

Posa della soglia.



La soglia realizzata.

Elementi che rendono l'opera ittocompatibile

Le **soglie**, oltre a regolarizzare e stabilizzare l'alveo a monte e a valle dell'opera, possono essere realizzate proprio con la finalità ecologica di diversificazione dell'habitat fluviale mediante la formazione di buche che si creano a valle. L'inserimento di soglie deve essere valutato, in modo da garantire sempre una minima presenza di acqua anche in condizioni climatiche difficili, grazie all'aumento locale della turbolenza dell'acqua e del livello di ossigenazione; per tali motivi, questa tipologia d'intervento si dimostra vantaggiosa per le specie ittiche più esigenti. Essendo opere trasversali, la criticità principale indotta dalla presenza delle **briglie** è rappresentata dall'interruzione della continuità ecologica tra il tratto di monte e quello di valle. Tale interruzione può generare sostanzialmente due situazioni sfavorevoli per l'ittiofauna migratoria: un salto invalicabile (che a seconda delle specie e della taglia può risultare tale dai 30 cm), e/o a seconda della conformazione della gaveta, una variazione della distribuzione della portata idrica nell'alveo a monte, per l'accumulo di sedimenti, per cui l'alveo diviene un materasso ciottoloso piatto e uniforme, riducendo la diversità ambientale, la diversità biologica e la capacità autodepurante, e, come ultima importante conseguenza, rendendolo difficilmente percorribile per i pesci.

Compatibilmente con le finalità di trattenimento del materiale trasportato dalle acque e di consolidamento strutturale, la realizzazione di briglie, per preservare la continuità ecologica del tratto nel rispetto delle caratteristiche idrologiche del corso d'acqua, dovrà seguire le seguenti indicazioni:

- Generare un salto non superiore a 30 cm, eventualmente realizzando più briglie ravvicinate per raggiungere il salto necessario.
- In sostituzione alle briglie, qualora il salto non sia eccessivo e/o ci sia la possibilità nel tratto in oggetto, si dovranno realizzare tipologie con finalità simili, in modo tale che il salto venga suddiviso longitudinalmente lungo un tratto dell'alveo senza determinare discontinuità invalicabili per l'ittiofauna, ad esempio mediante la realizzazione di rampe e soglie in pietrame (tipologie di opere trasversali ittocompatibili di cui si tratterà di seguito).
- La realizzazione della briglia deve avvenire nel rispetto delle caratteristiche morfologiche del tratto: la conformazione alla gaveta, ad esempio, deve assecondare la conformazione dell'alveo naturale, soprattutto riguardo i regimi idrici, conservando nella struttura la continuità dell'alveo di magra.

Nel caso in cui non sia possibile evitare l'invalicabilità dell'opera, nei corsi d'acqua o nei tratti di corsi d'acqua a vocazione ittica in cui si verificherebbe una discontinuità ecologica, è necessario prevedere anche dei dispositivi per la risalita dei pesci in corrispondenza dell'opera, argomento oggetto di trattazione specifica nell'ambito del lavoro. La realizzazione di passaggi artificiali per pesci potrà dunque verificarsi contestualmente nei casi di nuova realizzazione di briglie, oppure potrà avvenire per ripristinare la continuità ecologica in corsi d'acqua resi invalicabili a causa della presenza di opere trasversali già in essere. Come per le soglie, anche le briglie possono essere impiegate con finalità ecologiche, come nel caso di piccole briglie a ridotta elevazione, particolarmente indicate per creare e migliorare habitat di piccoli corsi d'acqua montani ad elevata pendenza. Il loro impiego è multifunzionale e sono dunque adottabili per diversi scopi quali: approfondire buche esistenti, trattenere a monte materiale ghiaioso utile come substrato di ovodeposizione, oppure favorire la formazione di barre ghiaiose di ovodeposizione a valle dell'opera; in corsi d'acqua intermittenti favoriscono la permanenza di pozze; la presenza di cascatelle favorisce l'aerazione e dunque l'ossigenazione delle acque; infine, il rallentamento della corrente rende possibile la sedimentazione di detriti organici, consentendo lo sviluppo delle comunità macrobentoniche oltre che delle macrofite acquatiche.

2.2 Pennelli o repellenti

Si tratta di una tipologia di intervento che non rientra a pieno titolo nella categoria delle opere trasversali. Da un punto di vista strettamente geometrico sono opere ibride tra quelle longitudinali e quelle trasversali, mentre da un punto di vista funzionale, in base al contesto e al modo in cui vengono realizzate, possono avere differenti funzioni.

In ogni caso sono strutture che inducono una deviazione di flusso della corrente, limitando l'erosione spondale e creando delle zone di calma a valle delle strutture ad elevato valore ecologico. Rispetto alle opere di difesa spondale longitudinale, essi delimitano l'azione della corrente solo in modo puntiforme. Generalmente, dove vi sono problemi di erosione, non si costruisce un unico pennello ma dei *campi di pennelli* che, in alcuni casi, possono essere realizzati, alternati, su entrambe le sponde. Vengono prevalentemente impiegati per la protezione e il risanamento di erosioni spondali di corsi d'acqua piuttosto ampi (oltre i 7-10 m) (Florineth, 2007).

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

La finalità principale dell'impiego di pennelli e deflettori è la protezione delle sponde dall'erosione, oppure la creazione di un restringimento dell'alveo fluviale. Come finalità secondaria, che può diventare anche preminente, svolgono anche un importante ruolo ai fini della diversificazione dell'habitat ripario. Le modalità realizzative sono molteplici e dipendono dall'effetto desiderato e dalle caratteristiche del corpo idrico.

A seconda della loro inclinazione si distinguono:

- Pennelli ad angolo retto.
- Pennelli inclinati verso monte (divergenti), soluzione che ha dimostrato di essere molto efficace per il consolidamento delle sponde, poiché in questo modo l'acqua viene deviata verso il centro del corso d'acqua.
- Pennelli inclinati verso valle (convergenti). Questo tipo di repellenti devono essere ben protetti contro l'erosione lungo l'intero corpo dell'opera, a causa delle turbolenze idrauliche provocate (la tipologia realizzata più idonea è rappresentata da repellenti di massi).

A seconda delle tipologie di costruzione si distinguono principalmente:

- Repellenti di massi/pietrame (vegetati).
- Repellenti di gabbioni vegetati.
- Repellenti a graticciata di ramaglia.
- Repellenti di alberi grezzi.
- Repellenti di fascine.
- Repellenti con palizzata.

A valle, nei tratti compresi tra i pennelli realizzati in serie lungo la sponda, si depositano solidi in sospensione, materiale galleggiante e materiale di fondo, dando vita a piccoli ambienti lenticoli lungo il corso d'acqua, creando dunque preziosi habitat per l'ittiofauna.

In merito alle modalità realizzative, le operazioni necessarie per la realizzazione di alcune delle principali tipologie di **pennelli o repellenti** elencate, riguardano:

- Scavo di fondazione profondo almeno 30 cm (per i pennelli in pietrame la larghezza è da definire in funzione delle dimensioni del materiale disponibile).
- Nel caso di **pennelli in pietrame/massi vegetati**, si procede al posizionamento delle talee nello scavo, sul lato del pennello rivolto verso valle e attorno alla testa del pennello; si crea quindi il sottofondo dell'opera con ghiaia e pietrame ed infine si posizionano i massi, con funzione di protezione al piede dell'opera. Questi devono raggiungere un'altezza determinata dalle caratteristiche del corso d'acqua e comunque non molto dissimile dalla normale altezza dell'acqua; è preferibile che l'altezza diminuisca procedendo verso il centro dell'alveo.
- Nel caso di **repellenti di fascine**, dopo avere realizzato la fondazione, si procede all'infissione di pali in legno (con diametro di 18-25 cm e lunghezza di circa 2 m, di cui 1,5 m infissi nel fondale), lungo due file lateralmente lo scavo, ad una distanza tra i pali di circa 2 m. All'interno dello scavo si inseriscono orizzontalmente le fascine nell'interasse dei pali e vengono a loro fissati mediante filo di ferro zincato. I pali vengono quindi collegati tra loro mediante la ramaglia (viva o morta) che deve essere posta orizzontalmente e intrecciata ai pali. Da valutare la protezione laterale al piede dell'intera struttura tra i pali con massi.

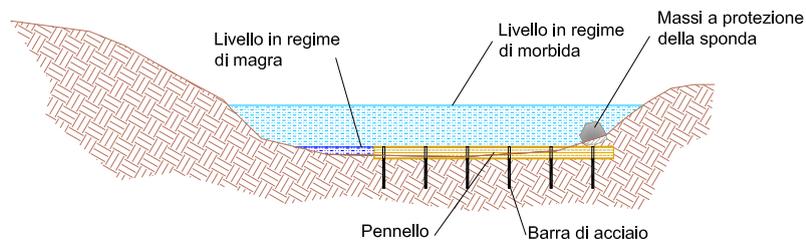
- In entrambi i casi sopra descritti, la distanza tra i pennelli deve essere pari a circa la larghezza dell'alveo oppure a 1,5 – 2,5 volte la loro lunghezza, impedendo alla corrente di raggiungere ed erodere la sponda. Similmente, poiché tra due pennelli si crea una zona di forte sedimentazione, è preferibile realizzarli con lunghezze variabili, in modo da contrastare almeno in parte questa tendenza. Per quanto concerne invece l'inclinazione, in linea di massima bisogna considerare che se si vuole restringere l'alveo è meglio disporli controcorrente (divergenti); se invece lo scopo è quello di ottenere un andamento meandriforme è meglio realizzarli nel verso della corrente (convergenti); nel primo caso è bene proteggere la riva a monte dei pennelli.
- Un elemento valido per tutte le tipologie riguarda la testa del pennello che deve essere realizzata in modo robusto, mentre la radice deve inserirsi nella sponda per 1/3 – 1/4 della lunghezza complessiva dell'opera.

Elementi che rendono l'opera ittocompatibile

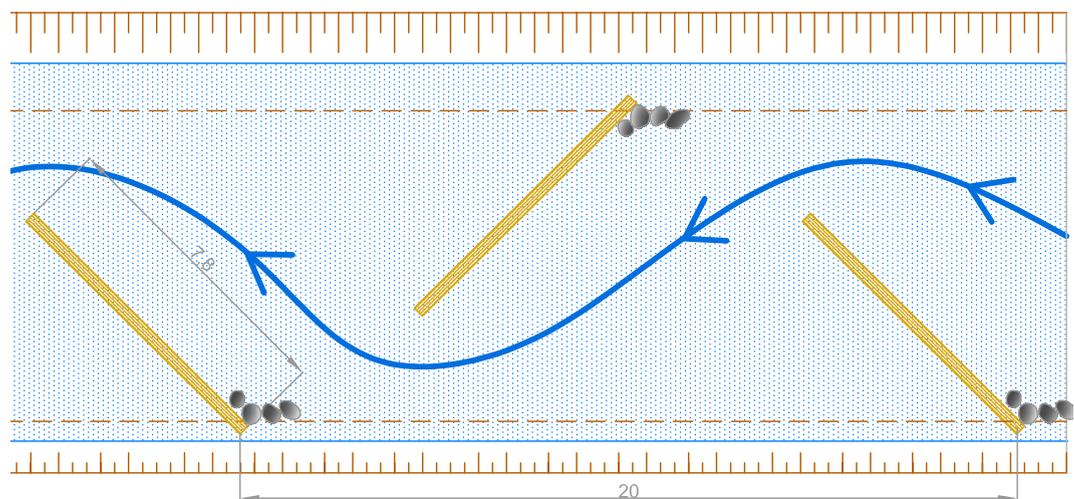
Come accennato, tale tipologia di opera può essere anche realizzata per una preminente finalità ecologica, o comunque tenendo presente, nel conseguimento delle finalità di difesa spondale, anche il valore ecologico dell'intervento. Il materiale che si verrà a depositare a valle dei pennelli riveste infatti una notevole importanza per l'ittiofauna in quanto, insieme alla presenza di un ambiente con acque ferme che si viene a creare, viene utilizzato quale habitat di frega di sviluppo di pesci (Salmonidi).

Il valore ecologico di tale intervento non si esprime solo a livello di singola struttura o di una sequenza ravvicinata di pennelli, ma assume un elevato significato in termini di diversificazione dell'alveo anche la localizzazione lungo un tratto di corso d'acqua di pennelli disposti in ordine alternato su entrambe le sponde, con un interasse pari a 5-7 volte la larghezza dell'alveo. In tal modo si crea un alveo di magra sinuoso in corsi d'acqua rettificati o lineari, contribuendo anche ad una rivitalizzazione dei tratti coinvolti, mediante una diversificazione idraulico-morfologica con formazione di zone a corrente lenta e a maggiore profondità, che costituiscono dei buoni rifugi per pesci.

Sezione dell'alveo con inserito un pennello in legno; sono evidenziati i livelli dell'acqua nei regimi di morbida e asciutta.



Schema planimetrico di applicazione dei pennelli all'interno di un alveo.

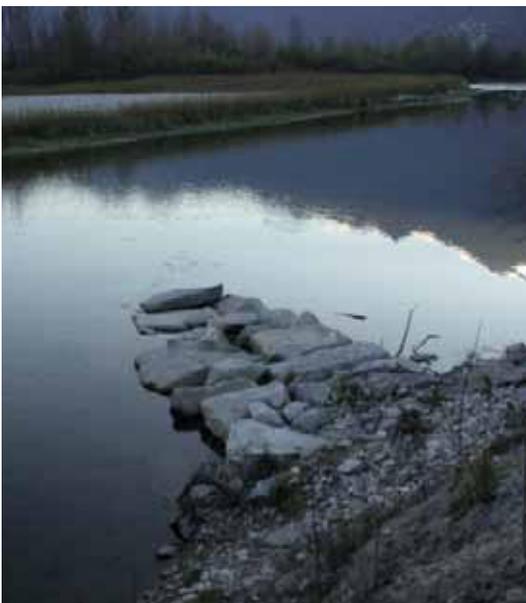




Pennelli posati nel Fosso Pedicata, in Comune di Sonnino (LT)
A sinistra: vista da valle in regime di asciutta parziale.
A destra: vista laterale in regime di asciutta parziale.



Vista laterale in regime di morbida.



Esempio di intervento con pennelli in pietra realizzato nel Fiume Toce a Vogogna (VCO).
A sinistra: pennello in pietra, visto da monte.
A destra: buca formatasi a valle del pennello.

3. INTERVENTI DI RINATURALIZZAZIONE

Lo stato di alterazione idromorfologica in cui si trova parte degli ambienti acquatici del nostro territorio, ai fini della loro messa in sicurezza nei confronti delle aree urbanizzate limitrofe oppure per consentire l'utilizzazione della risorsa idrica a fini idroelettrici o irrigui, ha avuto e ha come importante conseguenza una banalizzazione delle fasce spondali e dell'alveo stesso. Le alterazioni possono essere di vario tipo: al posto di tracciati sinuosi, tratti rettificati; invece di alvei con alternanza di buche e raschi, vegetazione ripariale e zone umide, alvei a sezione trapezoidale, spesso cementificati e/o con sponde risagomate a formare argini privi di vegetazione o con importanti opere di difesa spondale; anziché una continuità longitudinale, interruzioni frequenti della percorribilità fluviale causate da sequenze di opere trasversali non valicabili dall'ittiofauna. Infine, i prelievi idrici che depauperano la portata naturale producono uno scadimento qualitativo dell'habitat acquatico, con riduzione dell'area bagnata, del tirante idrico e della velocità di corrente, riducendo la diversità idraulico-morfologica.

Nel presente capitolo vengono dunque descritte quelle tipologie di opere che hanno un prevalente significato ecologico, finalizzato alla diversificazione dell'habitat fluviale, lungo le sponde e nell'alveo, in corsi d'acqua alterati dal loro assetto naturale. Il ripristino dell'eterogeneità idraulico-morfologica è indispensabile per garantire lo sviluppo di una biocenosi fluviale articolata e ben strutturata nelle sue componenti, la più vulnerabile delle quali è rappresentata dalla fauna ittica, che costituisce l'elemento di riferimento su cui calibrare gli interventi da attuare. Particolarmente importante per l'ittiofauna è la presenza di alcuni elementi morfologici: sinuosità del tracciato, sequenza buche-raschi, barre di meandro, rive dolcemente degradanti, ostacoli locali alla corrente (grossi massi, rami incastrati sul fondo), vegetazione sommersa, ceppaie sommerse di alberi ripari.

Gli interventi di rinaturalizzazione finalizzati espressamente a favorire l'ittiofauna devono essere mirati a:

- ricreare le zone di sosta e rifugio e gli ambienti fondamentali per la deposizione delle uova e la crescita degli avannotti;
- rimuovere gli ostacoli alle migrazioni;
- garantire uno spazio vitale adeguato e condizioni idrauliche idonee per le differenti specie e per i diversi stadi vitali.

3.1 Massi in alveo

La collocazione di massi ciclopici in alveo è un intervento finalizzato al miglioramento della qualità dell'habitat fluviale. L'introduzione dei massi, singoli o in gruppi, è uno dei metodi più semplici e più largamente applicati per il miglioramento dell'habitat in corsi d'acqua di ogni dimensione. I massi possono essere disposti in vario modo all'interno dell'alveo in base alle caratteristiche del corso d'acqua e ai risultati che si desidera ottenere: possono essere disposti isolati o in gruppi e la loro collocazione può essere ordinata o casuale.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Questa tipologia d'intervento è particolarmente adatta in corsi d'acqua artificializzati con una scarsa alternanza di buche e raschi, prestandosi comunque ad essere adottata anche in corsi d'acqua naturali con le medesime criticità. Vengono impiegati per raggiungere diversi obiettivi: fornire ai pesci ricoveri ed habitat addizionali, aumentare il rapporto buche/raschi (creando nuove buche), ricreare meandri e buche nei tratti canalizzati, proteggere le sponde dall'erosione (deviando la corrente), mitigare l'uniformità di alvei piatti. A valle dei massi il substrato viene "spazzato" dalla corrente e si forma una buca che, protetta dal masso stesso, costituirà un prezioso riparo per i pesci dalla corrente, soprattutto in occasioni delle piene.

La disposizione di massi in alveo determina dunque una diversificazione dell'habitat fluviale: la creazione di buche a valle dei massi comporta anche zone in cui la velocità della corrente è ridotta e i pesci possono sostare e trovare rifugio; l'utilizzo di massi di dimensioni diverse determina la formazione di rifugi adatti a esemplari di taglia variabile e contribuisce così a produrre popolazioni ittiche più strutturate. La deviazione del flusso della corrente può inoltre favorire la pulizia di alcune parti dell'alveo, che verranno colonizzate da invertebrati e utilizzate dai pesci per la deposizione

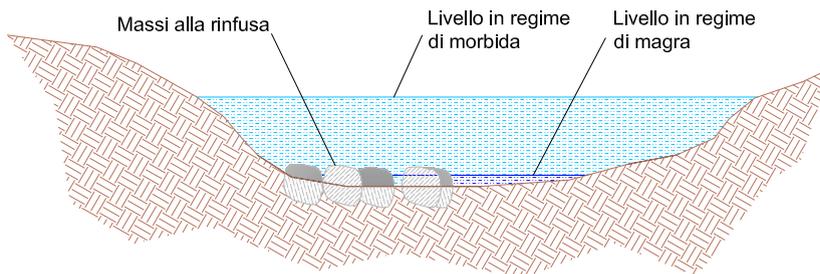
delle uova. La presenza dei massi ha anche un effetto significativo sui processi di erosione delle sponde; a seconda di come vengono disposti nell'alveo, la loro presenza può infatti difendere sia le sponde soggette ad erosione, sia amplificare i fenomeni di erosione già in atto. Nel caso in cui non siano disponibili massi in loco o il loro trasporto risulti particolarmente costoso o complicato, è possibile utilizzare dei gabbioni metallici per ottenere dei risultati analoghi.

In merito alle modalità realizzative, valgono le seguenti indicazioni:

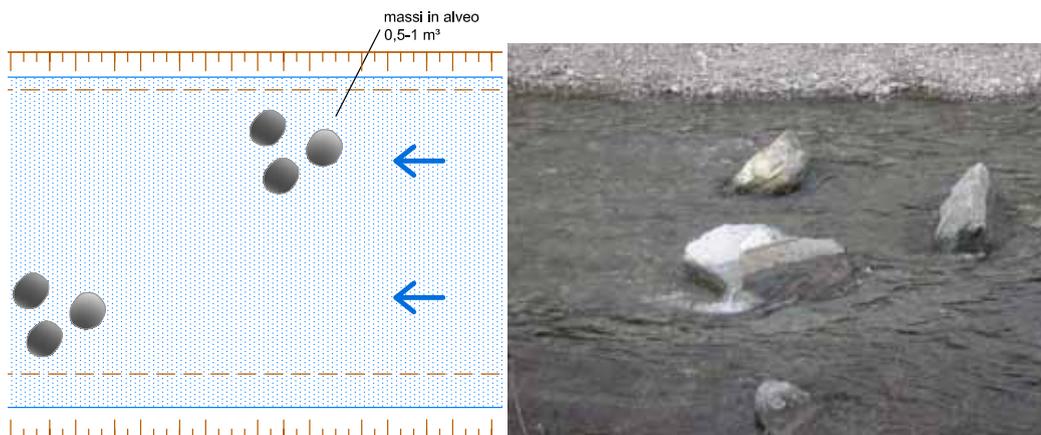
- La dimensione dei massi (o dei gabbioni) deve essere valutata accuratamente affinché questi possano resistere alle piene.
- In generale si raccomanda di usare massi di diametro compreso tra 0,6 e 1,5 m, aventi preferibilmente una forma irregolare e costituiti da roccia dura.
- Per ottenere una maggiore stabilità dei massi è possibile incassarli nel fondo dell'alveo.
- Si raccomanda di valutare attentamente la collocazione dei massi nel corso d'acqua, tenendo presente i possibili fenomeni di erosione delle rive indotti nel caso in cui i massi siano posti vicino alle sponde e, più in generale, considerare gli effetti che possono manifestarsi con le correnti generate dalla loro presenza.

Per quanto riguarda la disposizione dei massi, si individuano alcuni schemi di posa:

1. a triangolo;
2. alla rinfusa sull'intera sezione dell'alveo;
3. a nuclei di forma diversa (quello a goccia riportato ne è un esempio).



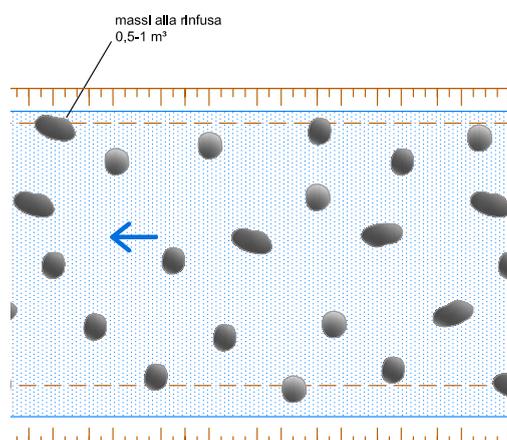
Schema grafico della posizione dei massi a seconda del regime idrologico del corso d'acqua.



Massi disposti a triangolo. Schema ed esempio di realizzazione.

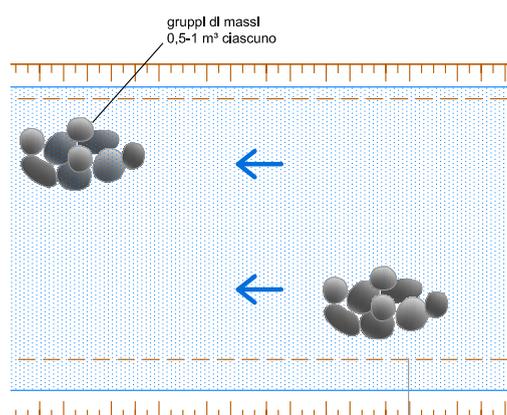
Massi disposti alla rinfusa.
Schema ed esempio di
realizzazione sul Torrente
Cassarate a Mendrisio
(Svizzera).

(Foto: Tiziano Putelli)



Massi disposti a "goccia".
Schema (con riempimento
in massi) ed esempio
di realizzazione (con
riempimento in terra)
sul Fiume Laveggio a Lugano
(Svizzera).

(Foto: Tiziano Putelli)



3.2 Deflettori e costrittori

Deflettori e costrittori presentano delle affinità strutturali e morfologiche con la tipologia dei pennelli, di cui si è trattato all'interno del capitolo relativo alle opere idrauliche trasversali, ma il campo d'impiego risulta spesso molto diverso. Nell'ambito degli interventi di rinaturalizzazione fluviale, si realizzano delle strutture analoghe ma con particolari accorgimenti costruttivi, che finalizzati alla diversificazione dell'habitat.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

A seconda della finalità specifica per cui vengono realizzati e delle caratteristiche del corso d'acqua, l'impiego di deflettori e costrittori ha lo scopo di restringere e approfondire l'alveo, assecondare la sequenza di buche e raschi, creare delle barre favorendo lo sviluppo della vegetazione riparia, indirizzare la corrente in punti di particolare valore ecologico, innescare la formazione di meandri, mantenere pulito il fondo dell'alveo dal fango, favorendo la colonizzazione di invertebrati e la deposizione delle uova da parte dei pesci. La realizzazione può prevedere l'utilizzo di svariati materiali e di diverse modalità per ottenere anche risultati differenti. Tale tipologia viene in genere realizzata in torrenti piuttosto che in grandi fiumi, dove la loro introduzione comporta una modificazione importante delle unità idraulico-morfologiche del tratto interessato. Il loro inserimento nell'alveo determina la presenza di zone in cui la corrente è costretta a defluire in una sezione ridotta, con un conseguente incremento della velocità e del battente idrico; possono anche essere utilizzati per concentrare la corrente in una determinata zona dell'alveo originario o per deviarla in modo da ottenere un andamento meandrico, ad esempio all'interno di argini di tratti canalizzati.

Date le modifiche anche importanti che realizzano, la scelta del luogo in cui localizzare i deflettori è delicata. Per questo vengono di seguito proposti alcuni criteri generali:

- Il loro uso è indicato soprattutto in tratti di alvei con sezioni più larghe, che presentano ridotti tiranti idrici, deboli pendenze e scarsa presenza di buche (da evitare tratti con sponde

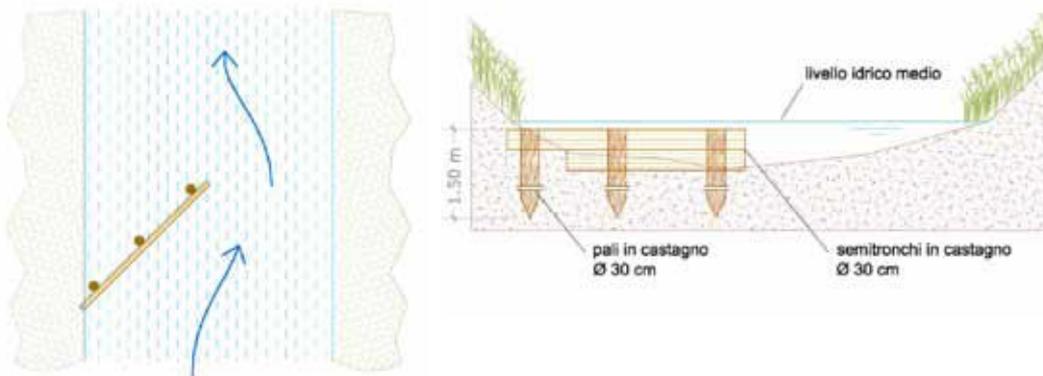
alte, ripide e soggette ad erosione); le strutture devono essere ben ancorate per 1 m entro le sponde; la sponda opposta al deflettore deve essere stabile, altrimenti occorre valutare il consolidamento della stessa.

- Sono da evitare installazioni in tratti con pendenza superiore al 3% e con forti variazioni di portata, a meno di non realizzare deflettori bassi tarati per le portate di magra.
- Non posizionare i deflettori alla testa dei raschi, dato che possono diventare uno sbarramento del corso d'acqua.
- Evitare i tratti o i corsi d'acqua con elevato trasporto di detriti, poiché possono generare occlusioni, ed evitare i tratti con substrato molle e/o instabile.

Il principale campo d'impiego è dunque rappresentato da torrenti di varie dimensioni, caratterizzati da pendenze ridotte e sezioni larghe e poco profonde. Sono particolarmente indicati dove risultano carenti buche e rifugi per pesci. Possono essere anche associati ad interventi che creano rifugi artificiali per i pesci (come verrà approfondito di seguito), con lo scopo di convogliare la corrente verso questi ultimi.

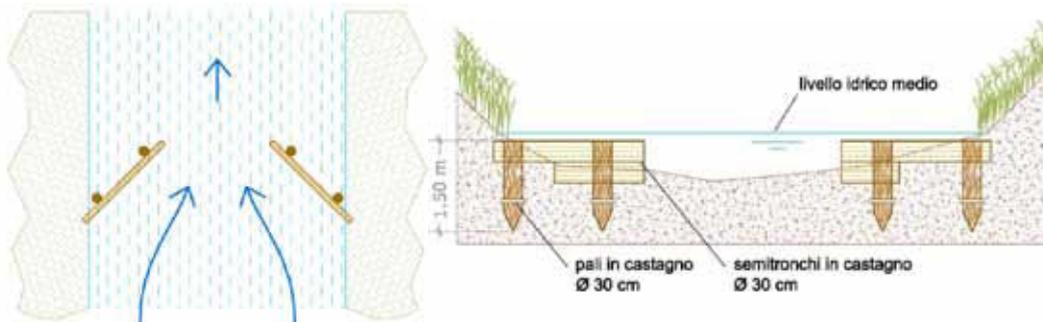
Le principali tipologie costruttive sono:

- **Deflettori singoli**, che deviano la corrente verso una zona della sponda, incrementandone la velocità in modo da avviare un andamento meandriforme; in tal modo creano una zona pulita a corrente veloce in corrispondenza del deflettore stesso ed una buca immediatamente a valle. Nel caso si voglia evitare l'erosione della sponda opposta, è opportuno prevedere anche interventi di protezione della stessa (ad esempio con tronchi o ramaglia), da evitare nel caso in cui si desideri invece innescare lo sviluppo di meandri.



*Deflettore singolo.
Rappresentazione grafica di
un intervento tipo. Planimetria
e sezione.*

- **Deflettori doppi**, ossia due deflettori singoli posti in modo simmetrico all'interno dell'alveo; hanno la stessa funzione dei deflettori singoli, ma, a differenza dei primi, non comportano l'instaurarsi di fenomeni erosivi lungo le sponde e, di conseguenza, non sono in grado di facilitare la formazione di meandri.

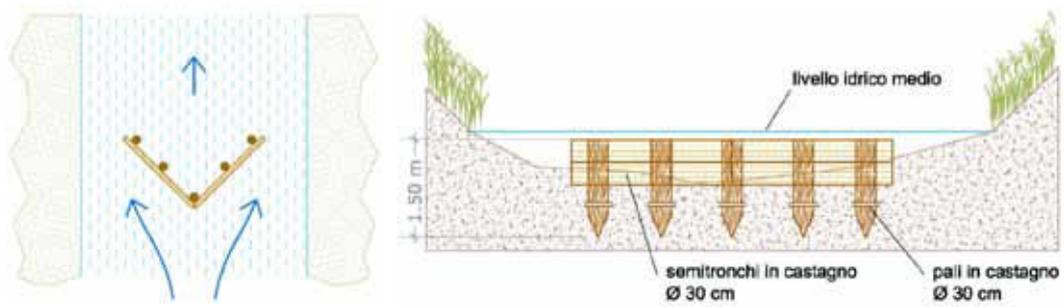


*Deflettore doppio.
Rappresentazione grafica di
un intervento tipo. Planimetria
e sezione.*

- **Deflettori a V**, costituiscono dei cunei posti al centro dell'alveo che, al contrario dei deflettori doppi, favoriscono l'erosione delle sponde (che pertanto devono essere o originariamente stabili o adeguatamente protette).

Deflettore a V.

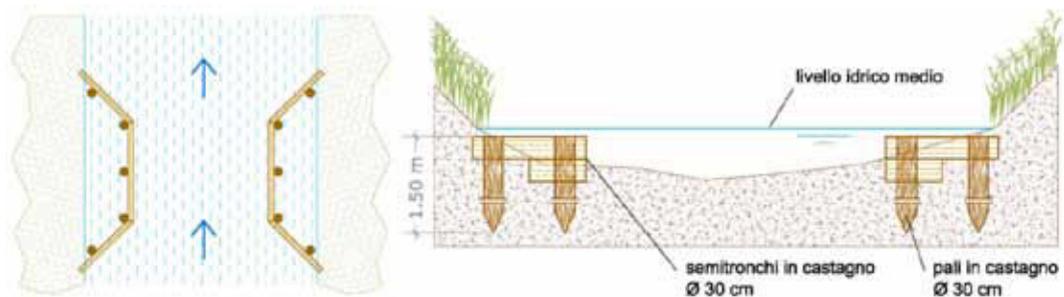
Rappresentazione grafica di un intervento tipo. Planimetria e sezione.



- **Costrittori:** sono analoghi ai deflettori doppi, ma con la zona centrale a corrente veloce distribuita su una lunghezza maggiore.

Costrittore.

Rappresentazione grafica di un intervento tipo. Planimetria e sezione.



In merito alle modalità di esecuzione, i deflettori vengono preferibilmente realizzati utilizzando materiali già disponibili in loco, quali tronchi e massi. Le operazioni principali sono le seguenti:

- Disporre tronchi in legno di lunghezza adeguata (preferibilmente larice o castagno), con cui creare la struttura principale, adeguatamente ancorati alle rive, in cui devono penetrare per circa 1/3 della lunghezza. Il lato rivolto verso monte deve essere inclinato di 30-40° rispetto alla direzione della corrente, mentre l'angolo tra il lato a monte e quello a valle deve essere di circa 90°. Per fissare tra loro i tronchi sono sufficienti dei chiodi; può essere al limite conveniente sagomare i tronchi in modo da migliorare l'incastro.
- Nel caso in cui i deflettori vengano invece realizzati in pietrame, è necessario calcolare la dimensione dei massi da utilizzare, onde evitare danneggiamenti dell'opera durante le piene.
- Altra alternativa possibile prevede l'utilizzo di gabbioni metallici, legati tra loro.
- Il riempimento può essere effettuato con massi, ghiaia, o in legno. È anche possibile realizzarli interamente in pietrame, proteggendo in questo caso il perimetro esterno con massi di dimensioni adeguate.

Esempio di realizzazione sul Fosso Pedicata, in Comune di Sonnino (LT).





Esempio di realizzazione sul Fosso Pedicata, in Comune di Sonnino (LT).

3.3 Semi-tronchi

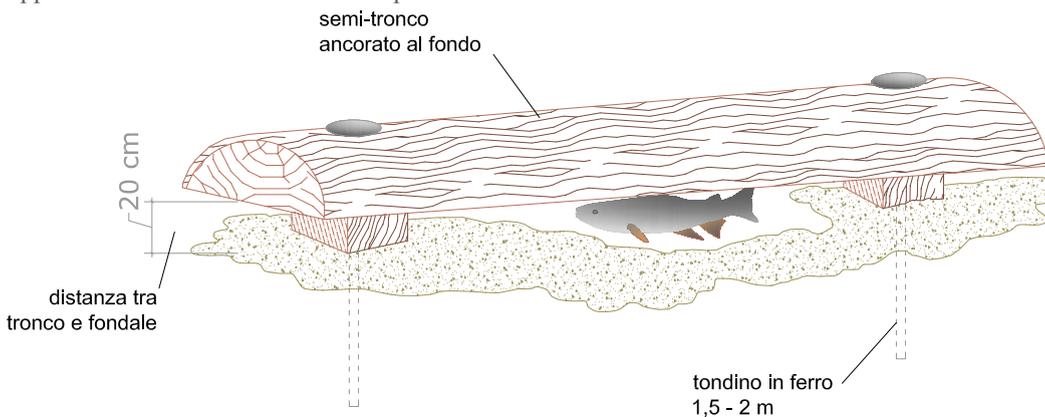
Questo tipo di intervento si inserisce bene in alvei con substrato stabile e con poco trasporto solido, onde evitare che i tronchi vengano assorbiti dal fondo dell'alveo in breve tempo e perdano quindi la loro funzione originaria. È particolarmente indicato laddove vi siano problemi legati alla predazione dei pesci da parte degli uccelli.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

L'inserimento di semi-tronchi in alveo è finalizzato a realizzare strutture che forniscano rifugio alla fauna ittica; al di sotto del tronco i pesci trovano protezione da eventuali predatori e per questo motivo si tratta di un'opera particolarmente indicata in caso di predazione dei pesci da parte dell'avifauna.

Per la realizzazione dell'opera sono necessari tronchi in legno di adeguate dimensioni, tondini di ferro per l'ancoraggio (lunghi 1,5 – 2 m) e legname per spessorare il tronco. È consigliabile assemblare il semi-tronco, i tondini e gli spessori prima di metterli in opera. Dopo avere individuato un posto idoneo ad ospitare la struttura, si piantano i tondini nel fondo dell'alveo. La distanza tra la base del tronco ed il fondo dell'alveo dovrebbe essere di circa 20 cm. È infine preferibile che i tronchi restino completamente sommersi anche in regime di magra.

In tale tipologia di opera può essere necessario controllare periodicamente che non si depositi del materiale sotto il tronco e che questo mantenga la sua funzionalità; in questi casi, se possibile, è opportuno rimuovere il materiale depositato.



Semi-tronchi.
Rappresentazione grafica.

3.4 Ricoveri sottosponda

A questa categoria appartengono diverse tipologie di opere. Il principale obiettivo di questi interventi è quello di creare o incrementare il numero di rifugi per la fauna ittica in tratti fluviali carenti. Come ricordato, i ricoveri sottosponda contribuiscono anche a proteggere la sponda dall'erosione, sottolineando la multifunzionalità di molti interventi e come l'ittocompatibilità di alcune opere sia un obiettivo facilmente raggiungibile anche con piccoli accorgimenti. È anche possibile ricavare i ricoveri sottosponda all'interno di opere di difesa spondale quali deflettori, sfruttandone il lato di valle, oppure alla base di scogliere in massi.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

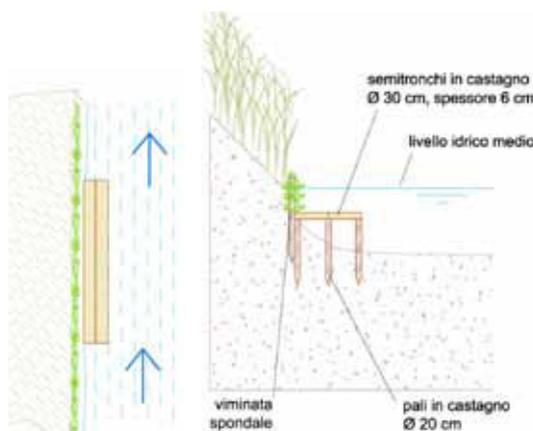
Da un punto di vista realizzativo è prevista in generale la posa di una pensilina, eventualmente sostenuta da pali di legno o massi, a ridosso della sponda. La pensilina deve essere più o meno a livello dell'acqua e deve essere ricoperta con terra e ciottolame, in modo da favorire lo sviluppo della vegetazione. Esistono vari modi per realizzare questo tipo di opere, in base alle necessità specifiche, alla profondità dell'acqua e all'area disponibile per la collocazione dell'opera. La pensilina viene realizzata con assi di legno, messa in opera in regime di magra e in modo tale da restare permanentemente sommersa. Se il rifugio artificiale creato con l'intervento è sufficientemente grande o se c'è l'esigenza di proteggere la sponda a tergo, è opportuno posizionare dei massi o della ramaglia al suo interno.

Le operazioni necessarie per la realizzazione di alcune delle principali tipologie riguardano:

- Posa, in corrispondenza della sponda su cui inserire la struttura, di pali di sostegno, che possono essere pali verticali piantati nel fondo dell'alveo o pali orizzontali conficcati nella sponda.
- Se necessario, dopo avere sistemato la paleria, collocazione del materiale di riempimento del rifugio (massi o ramaglia).
- Realizzazione della pensilina mediante assi di legno, piccoli tronchi posti a distanza ravvicinata, lamiera o vetroresina.
- Infine, copertura superficiale della pensilina, che può essere in terra o in pietrame; le caratteristiche della copertura devono essere stabilite secondo il contesto circostante, in modo che l'opera si inserisca al meglio nell'ambiente ripario.

Ricoveri sottosponda.

Schemi grafici ed esempio di realizzazione sul Fiume Foce a Valbrona (CO).



RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE DI TRATTI DI FIUME LAMBRO E DEL FIUME FOCE (CO)

Titolo del lavoro: AZIONE B.4: INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE E AMBIENTALE

Committente: FIPSAS Roma

Progettisti: Blu Progetti Srl

Altri Enti coinvolti: Provincia di Como, Provincia di Lecco

Anno di progettazione: 2008

Anno di realizzazione: 2009-2010

Il lavoro presentato in queste pagine costituisce una delle attività (nello specifico è l'Azione B.4) del "Piano per il ripristino della continuità ecologica dei corpi idrici della Provincia di Como e di Lecco", finanziato dalla Fondazione Cariplo alla Federazione Italiana Pesca Sportiva e Attività Subacquee e cofinanziato dalle Province di Como e di Lecco, oltre che dal Parco della Valle del Lambro. All'interno del Piano generale quest'azione fornisce le indicazioni per la riqualificazione fluviale della rete idrografica delle due province coinvolte, attraverso la progettazione e la realizzazione di interventi che possono essere ritenuti esemplificativi delle situazioni più frequenti all'interno dell'area di interesse.

AREA DI PROGETTO

L'area di progetto comprende tre tratti fluviali, sul Fiume Lambro e sul Fiume Foce, tutti gravati da situazioni di alterazione dell'habitat che ne inficiavano notevolmente l'idoneità ad ospitare una comunità ittica stabile. Tali tratti sono:

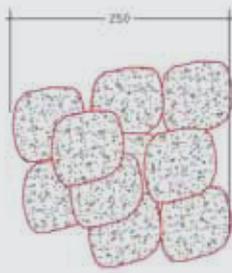
1. **Fiume Foce** (affluente sinistro del F. Lambro), in Comune di Valbrona – Frazione Visino. In seguito ad un recente intervento di rimozione del sedimento dal fondo, un tratto del corso d'acqua lungo circa 500 m era divenuto un ambiente fortemente monotono, ben poco ospitale per la fauna ittica. Su di esso era necessario dunque intervenire ricreando rifugi ed elementi di diversificazione dell'habitat.
2. **Fiume Lambro prelacuale**, in Comune di Castelmarte. Qui è stato individuato un tratto lungo circa 1.000 m caratterizzato da un sufficiente grado di naturalità dell'habitat, ma povero di rifugi per i pesci, che dovevano essere incrementati. Tutto doveva essere fatto nel rispetto della naturalità del corso d'acqua e dunque attraverso interventi il meno possibile invasivi.
3. **Fiume Lambro sublacuale**, in Comune di Merone. Anche in questo caso, nonostante la naturalità generale del corso d'acqua, è stato individuato un tratto lungo complessivamente circa 2.500 m, eccessivamente carente di rifugi per i pesci,

Condizioni ante-operam dei corsi d'acqua prima degli interventi.

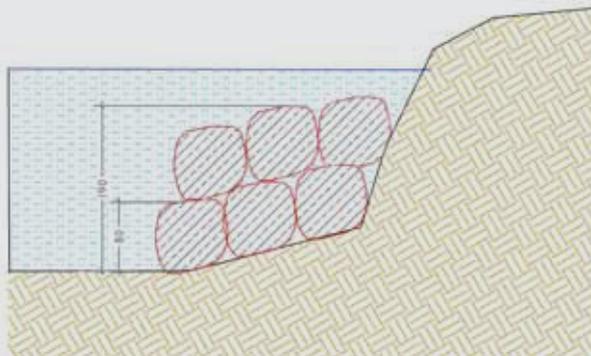


MASSI ALLA RINFUSA

PLANIMETRIA



SEZIONE



In alto: particolari costruttivi delle scogliere in massi alla rinfusa.

In basso: planimetria generale e particolari costruttivi dell'intervento di riqualificazione fluviale del tratto di Fiume Foce.

troppo esposti alla predazione da parte degli uccelli ittiofagi. Anche in questo caso era necessario intervenire con piccoli accorgimenti, ma efficaci nel fornire alla fauna ittica un riparo sicuro contro i predatori.

OBIETTIVI

L'obiettivo generale del progetto era unico per i tre tratti fluviali, ovvero la loro riqualificazione in funzione delle esigenze della comunità ittica.

PROGETTAZIONE

Per la progettazione degli interventi si è provveduto innanzitutto a compiere sopralluoghi nei tratti di interesse. In questa fase preliminare, i tre tratti fluviali sono stati analizzati nel dettaglio e ne sono state individuate le unità idraulico-morfologiche omogenee, per ciascuna delle quali sono stati identificati e caratterizzati gli aspetti di criticità in merito alla idoneità ad ospitare una comunità ittica stabile e diversificata, secondo la naturale vocazionalità. Dall'esame dell'habitat acquatico e ripario sono emerse alcune situazioni ricorrenti di eccessiva monotonia, scarsa presenza di rifugi per i pesci e pronunciata erosione delle sponde. Sulla base degli elementi raccolti in questa prima fase di approfondimento, sono stati redatti i progetti di riqualificazione, che, in ogni caso, hanno previsto l'impiego di tecniche e di tipologie di intervento definibili "leggere", cioè non invasive per l'habitat fluviale nella fase di cantiere, ma comunque funzionali ed efficaci. Le tipologie di intervento contemplate nei progetti erano le seguenti:

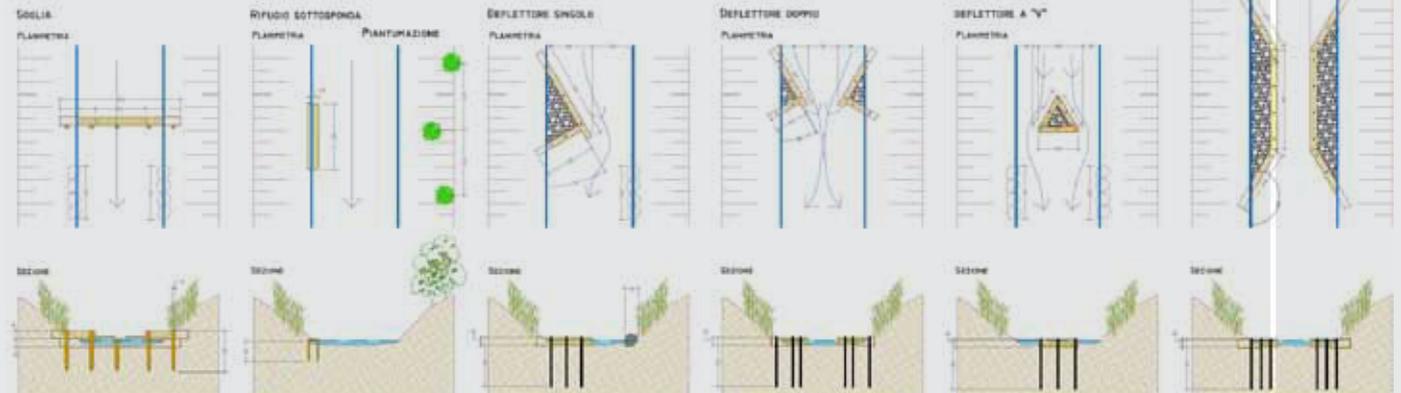
1. deflettori e costrittori, finalizzati a diversificare l'habitat fluviale;
2. ricoveri per i pesci sottosponda;
3. briglie e soglie, per limitare erosione e trasporto solido e per diversificare l'habitat fluviale;
4. ceppaie e rifugi per i pesci in legname ancorati al fondo;
5. difese spondali con tronchi, alberi interi o ramaglia, per la protezione delle sponde dall'erosione e per la creazione di zone di rifugio sottriva;
6. massi in alveo, anch'essi come rifugio per i pesci e come elementi di diversificazione dell'habitat fluviale.

PLANIMETRIA GENERALE DEGLI INTERVENTI

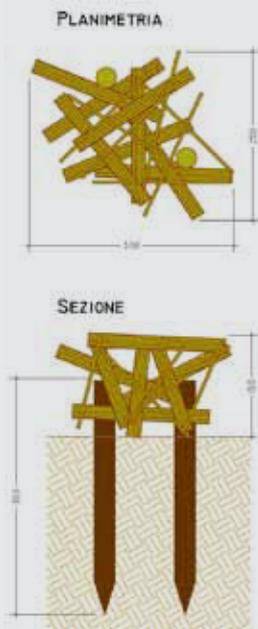
LEGENDA



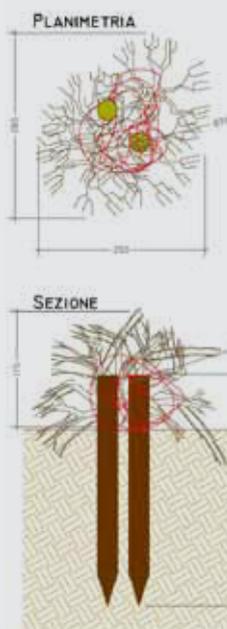
PARTICOLARI COSTRUTTIVI



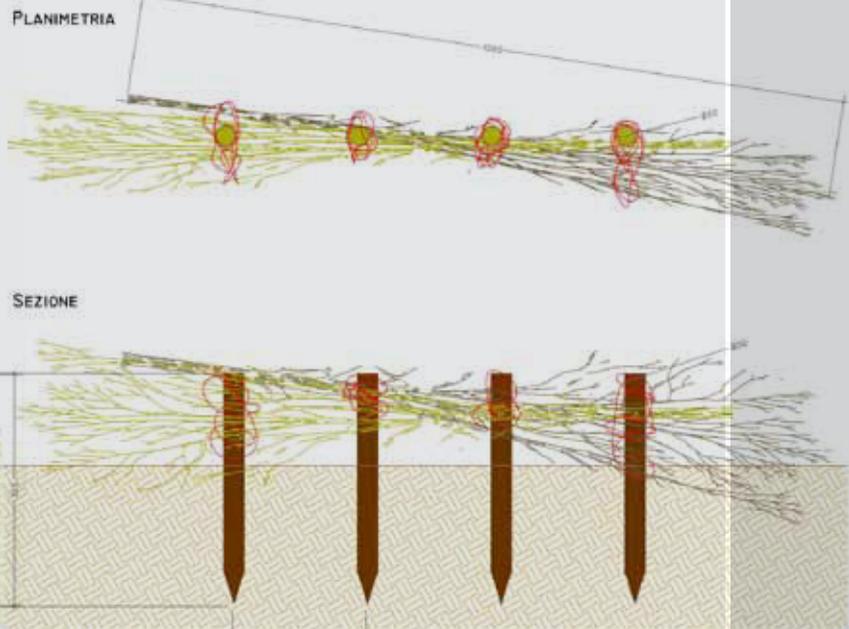
RIFUGI IN LEGNAME



CEPPAIE ANCORATE AL FONDO



RIFUGI CONTRORIVA CON ALBERI E RAMAGLIA



SCHEDA DI PROGETTO

REALIZZAZIONE

Gli interventi di riqualificazione dei tre tratti fluviali sono stati realizzati nell'autunno 2009, durante il periodo di magra idrologica dei corsi d'acqua.

In 4 km di fiume complessivi sono stati realizzati più di 200 interventi puntiformi compresi nelle diverse tipologie previste.

Le immagini riportate in queste pagine documentano il lavoro eseguito.

Si segnala che a pochi giorni dal termine dei lavori, una piena eccezionale ha interessato proprio i tratti oggetto di riqualificazione, rimodellando in parte i corsi d'acqua e mettendo così alla prova le opere appena realizzate che, per la massima parte, hanno dimostrato la loro efficacia funzionale nel diversificare l'habitat fluviale e nel limitare i fenomeni di erosione e trasporto solido.

Galleria fotografica:

1. Ceppaia ancorata al fondo.
2. Rifugio con ramaglia.
3. Rifugi controriva in legname.
4. Rifugi controriva con ramaglia.
5. Massi in alveo.
6. Diversificazione con deflettori, costrittori e soglie.
7. Costrittore.
8. Soglia.



RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE DEL TORRENTE LANZA (CO)

Titolo del lavoro: Riqualficazione fluviale del Torrente Lanza.
Lotti: 1, 2, 3, 4

Committente: Provincia di Como - Ufficio Pesca

Progettisti: GRAIA srl, Studio Ing. Magni

Anno di progettazione: 2003-2004

Anno di realizzazione: 2004 - 2005

Il Lanza è un torrente a vocazione ittica mista salmonicola e ciprinicola, a Ciprinidi reofili, che scorre per la gran parte del suo corso in Provincia di Como. Esso è uno dei rari corsi d'acqua di pianura della provincia che ha conservato una discreta qualità delle acque e che ospita un popolamento ittico abbondante e ben diversificato.

In un recente passato esso era stato soggetto a lavori di regimazione idraulica che avevano causato danni gravissimi ed irreversibili ad un lungo tratto del torrente, immediatamente a valle del confine con la Svizzera, accentuandone l'esposizione ai problemi di esondazione, erosione e trasporto solido, cioè quegli stessi fenomeni che in realtà avrebbero dovuto contrastare. Per evitare di ripetersi di simili episodi, la Provincia, in accordo con la Regione e con i Comuni interessati, ha allora redatto una sorta di "piano di bacino", nel quale venivano indicate le linee di intervento per risolvere, o quantomeno limitare, i rischi di dissesto delle sponde e di esondazione, in un'ottica di tutela dell'ambiente acquatico e della fauna ittica. Lo studio è stato adottato dai Comuni e dalla Regione, che si sono impegnati a rispettarne i contenuti in fase di realizzazione delle future opere di regimazione idraulica.

Successivamente, con l'impiego dei contributi regionali ricevuti per far fronte ai danni subiti con le alluvioni del maggio e del novembre 2002, i Comuni di Bizzarone, Rodero, Valmorea e Cagno e l'Amministrazione Provinciale di Como, in seguito ad un Accordo di Programma, hanno commissionato la progettazione e la realizzazione degli interventi necessari alla riqualficazione del corso d'acqua nel tratto danneggiato. Tali interventi sono stati formalmente suddivisi in 4 lotti, per esigenze di carattere gestionale.

AREA DI PROGETTO

Come anticipato in premessa, in realtà questa scheda si riferisce a più interventi progettati e realizzati negli anni tra il 2003 ed il 2006, denominati per convenzione "Lotti 1 - 2 - 3 - 4". Le aree di progetto per ciascun lotto (evidenziate nella mappa) sono le seguenti:

Area Lotto 1. Il tratto fluviale oggetto del primo intervento è in Comune di Bizzarone ed è lungo oltre 1 km. Prima dell'intervento, la morfologia dell'alveo era stata modificata rispetto alle condizioni di naturalità, a causa dei lavori per il



ripristino della linea ferroviaria ad uso turistico (Mendrisio-Valmorea), con cui era stato modificato il tracciato del torrente, rettificandolo e livellandone il fondo e favorendo così l'incremento abnorme del trasporto solido, ed erano state realizzate difese spondali per nulla rispondenti alle esigenze dell'ecosistema fluviale, in particolare della fauna ittica.

Area Lotto 2. È il tratto di fiume posto subito a valle dell'area del Lotto 1. Esso presentava problemi analoghi al precedente, connessi con la banalizzazione dell'habitat acquatico e ripario.

Area Lotto 3. Questo tratto, lungo circa 200 m, è caratterizzato da un profilo spiccatamente meandriforme; prima dell'intervento esso tendeva ad accentuare tale andamento, erodendo le sponde all'esterno delle anse e sedimentando all'interno.

Area Lotto 4. Comprende più tratti fluviali, alcuni sull'asta del Torrente Lanza altri sull'asta degli affluenti. Questi tratti fluviali erano gravati dai fenomeni di eccessiva erosione e trasporto solido, anche preoccupanti per la stabilità dei manufatti presenti lungo il percorso fluviale.

OBIETTIVI

Il progetto generale aveva la finalità di riqualficare il corso d'acqua a favore della sicurezza pubblica ed anche della conservazione ambientale e faunistica, all'interno di un tratto profondamente alterato e artificializzato. I problemi più gravi, che era necessario contrastare, erano l'eccessiva erosione, il pesante trasporto solido, la perdita di connettività trasversale e l'accentuata banalizzazione dell'habitat acquatico e ripario.



PROGETTAZIONE

Come si è detto, il lavoro complessivo è stato formalmente diviso in 4 lotti. La presente scheda riguarda i progetti redatti per i primi tre lotti.

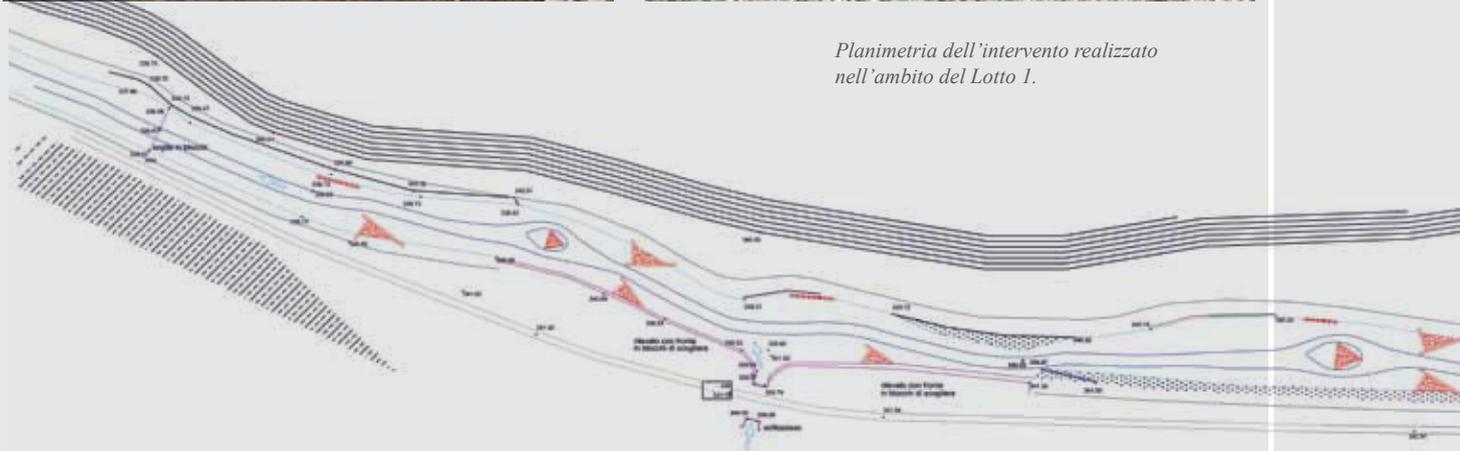
Lotto 1. Il progetto comprendeva tre tipologie di intervento principali: il rinverdimento delle sponde, per la ricostituzione di una fascia riparia vegetata; la diversificazione dell'alveo fluviale e il rimodellamento del suo profilo, attraverso la posa di deflettori e costrittori; la realizzazione di rifugi artificiali utili alla fauna ittica, con la posa di massi in alveo.

Lotto 2. Ripresentandosi i medesimi problemi di cui all'area del Lotto 1, il progetto prevedeva anche qui analoghi interventi di rinverdimento, diversificazione e rimodellamento. In questo caso, inoltre, presentandosi le condizioni logistiche necessarie, era prevista un'area di espansione per la laminazione delle piene.

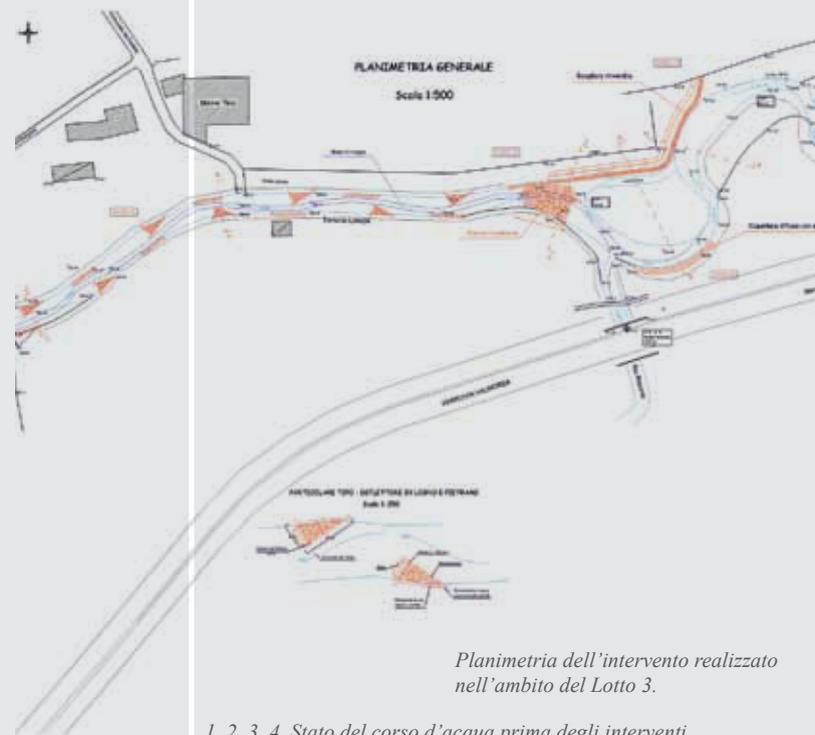
Lotto 3. Nell'area di progetto per questo lotto, visti i problemi di trasporto solido ed erosione, è stata progettata un'area di sedimentazione del materiale grossolano trasportato dal fiume, da realizzarsi mediante lo sghiaio di tutto l'alveo di morbida nell'area dei meandri fluviali (circa 200 m lineari). Erano poi anche previsti interventi di difesa spondale e diversificazione dell'habitat acquatico, tramite posa di deflettori, costrittori e massi in alveo.

REALIZZAZIONE

Gli interventi sono stati realizzati in anni diversi, tra il 2003 ed il 2005 ed hanno sortito buoni effetti, considerando che il corso d'acqua è stato nel frattempo coinvolto in eventi alluvionali di grande intensità che, in alcuni casi localizzati, hanno modificato morfologicamente l'alveo indipendentemente dalle opere realizzate.



Planimetria dell'intervento realizzato nell'ambito del Lotto 1.

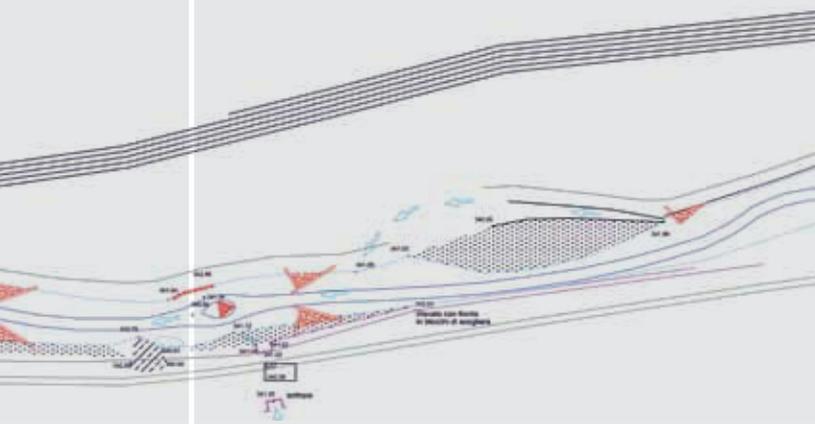
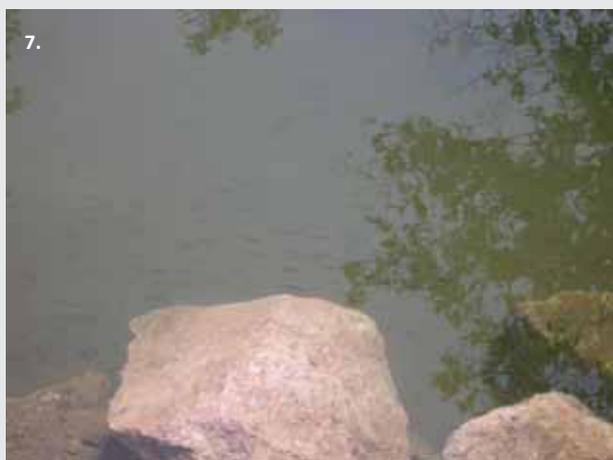


Planimetria dell'intervento realizzato nell'ambito del Lotto 3.

1, 2, 3, 4. Stato del corso d'acqua prima degli interventi. Banalizzazione idraulico-morfologica (1); eccessivo trasporto solido (2); erosione delle sponde (3); disalveo (4).

5, 6. Diversificazione del corso d'acqua. Subito dopo l'intervento (5) e dopo qualche mese (6).

7. Pesci presso i rifugi sottosponda creati dai massi alla rinfusa.





Planimetria dell'intervento realizzato nell'ambito del Lotto 2.



1 e 2. Diversificazione dell'alveo tramite la posa di deflettori.
3. Scogliera in massi realizzata nell'ambito del Lotto 4.

Planimetria della scogliera in massi realizzata nell'ambito del Lotto 4.



RINATURAZIONE DEL FIUME LAVEGGIO TRA MENDRISIO ED IL LAGO DI LUGANO (CANTONE TICINO, SVIZZERA)

Titolo del lavoro: Rinaturazione del Fiume Laveggio tra Mendrisio ed il Lago di Lugano

Committenti: Gruppo di lavoro rinaturazione corsi d'acqua del Mendrisiotto (GRCAM); Ufficio della caccia e della pesca (UCP); Consorzio Manutenzione Arginature Medio Mendrisiotto (CMAMM)

Progettisti: Comal e Associati SA (Morbio Inferiore)

Anno di progettazione: 2005

Anno di realizzazione: 2005

Referente: Ing. Tiziano Putelli - Ufficio Caccia e Pesca, Repubblica e Cantone Ticino (CH)

Durante gli anni 1950 e 1960 il Mendrisiotto ha subito dei radicali cambiamenti, dettati dalle necessità di uno sviluppo urbano, industriale e viario (autostrada in particolare); diversi corsi d'acqua, tra i quali il Laveggio, sono stati rettificati, i loro argini ed i loro alvei pavimentati in modo da permettere un maggiore e rapido deflusso dell'acqua da monte verso il lago senza creare danni.

Oggi la maggior parte dei fiumi del Mendrisiotto non possono più svolgere le funzioni ecologiche legate alle acque di superficie (in particolare da habitat per la fauna ittica) e necessitano di opere di rinaturazione.

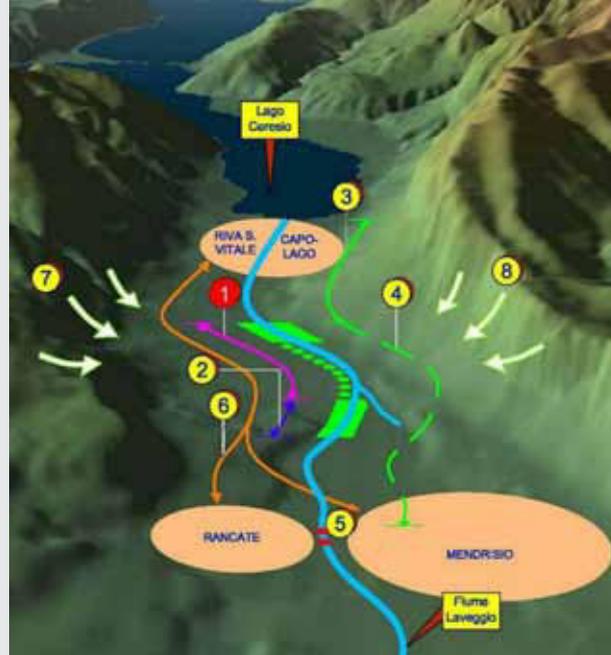
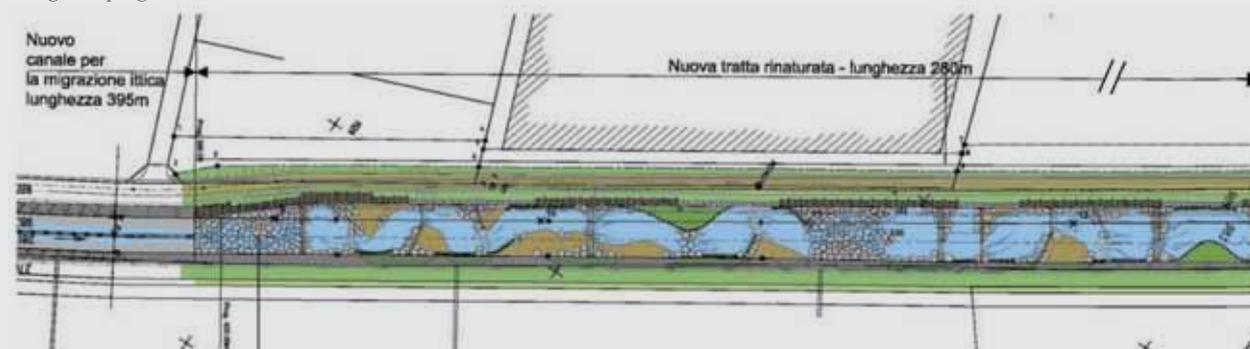
Il progetto in oggetto, denominato "Rinaturazione Prà da Fond – Prati Maggi", si prefigge di correggere ed ottimizzare la situazione dal punto di vista biologico, garantendo l'attuale sicurezza idraulica.

AREA DI PROGETTO

Il progetto "Rinaturazione Prà da Fond – Prati Maggi" si integra con i seguenti elementi:

1. Intervento di rinaturazione tratta "Prà da Fond – Prati Maggi".
2. Intervento di rinaturazione realizzato nel 1996.
3. Percorso attuale di migrazione ittica dal lago: 1.9 km.

Disegno di progetto. Planimetria.



4. Percorso massimo di migrazione ittica dal lago dopo l'intervento di rinaturazione: 3.9 km.

5. Tratta incanalata: ostacolo insormontabile per la migrazione ittica, da correggere in futuro.

6. La presenza di sentieri e della pista ciclabile a fianco del Laveggio, permettono il collegamento degli abitati di Mendrisio e Rancate con Riva S. Vitale e Capolago.

7. Corridoio biologico tra i comparti boschivi e montagnosi del Monte S. Giorgio con il lago.

8. Corridoio biologico tra i comparti boschivi e montagnosi del Monte Generoso con il lago.

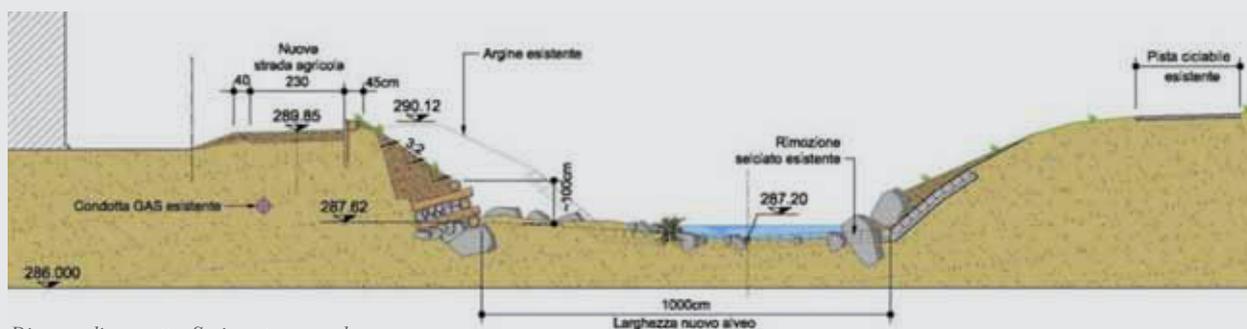
PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE

L'intervento si compone di 2 parti ben distinte:

- un canale di collegamento ittico tra la tratta rinaturata nel 1996 (zona "Prà da Fond") e la nuova rinaturazione in località "Prati Maggi" (totale 395 m);
- rinaturazione completa dell'alveo in località "Prati Maggi" (totale 280 m).

La nuova tratta rinaturata ed il passaggio preferenziale per la risalita ittica, unito alla rinaturazione avvenuta nel 1996, permettono importanti collegamenti tra il lago e le zone più interessanti per la riproduzione, in quanto:

- il percorso di migrazione ittica dal Ceresio verso il Laveggio aumenta da 1.9 a 3.9 km;
- nella parte più a monte si raggiungono aree di grande interesse riproduttivo per la trota di lago e di ruscello. A queste si aggiungono le 2 tratte rivalitizzate (nuovo intervento e rinaturazione 1996).



Disegno di progetto. Sezione trasversale.

Il canale di collegamento ittico di 395 m è un nuovo canale integrato nel selciato esistente, atto a ricevere la magra del Laveggio e strutturato in modo da permettere la risalita ittica.

La rinaturazione completa dell'alveo in località "Prati Maggi" ha visto la demolizione del selciato esistente ed un ampliamento dell'alveo in sponda sinistra con relativo spostamento della pista agricola lungo l'argine.

La stabilizzazione idraulica del fondo è garantita da soglie in pietra naturale e tondame di castagno che, unitamente ai pennelli spondali, produrranno una successione di "pools & riffles" e meandri, molto importanti per la presenza di un'elevata biodiversità della fauna e della flora acquatica.

Il piede delle sponde è stabilizzato con pietra naturale, fascinate semplici e doppie, rispettivamente viminate.

Le scarpate d'argine sono assicurate mediante palificate semplici in castagno, gradonate e scogliere in blocchi naturali. La scelta accurata della vegetazione ripuale assicura, oltre alla stabilizzazione strutturale, la formazione degli habitat mirati.

L'opera è iniziata nel gennaio 2005, è terminata nel luglio 2005 ed è stata finanziata dalla Repubblica e Stato del Canton Ticino (compenso Divisione costruzioni, Fondo ecosistemi acquatici compromessi e Fondo dissodamento della Sezione Forestale), dal Cantone Zurigo tramite la Fondazione Svizzera per la tutela del paesaggio, dal Fondo Svizzero per il paesaggio e dai Comuni limitrofi (Mendrisio, Rancate, Capolago e Riva San Vitale).

La caratteristica di pregio a livello regionale, che alcune tratte del Laveggio hanno saputo mantenere nel tempo, è la possibilità di fruibilità del fiume e dei suoi ambienti circostanti. Piste ciclabili, sentieri, stagni e zone vicino allo stato naturale, danno la possibilità al cittadino di trovare, nelle vicinanze dei centri urbani di Chiasso e Mendrisio, delle importanti possibilità di svago e di riposo, così come d'interesse naturalistico. La realizzazione della rinaturazione "Prà da Fond – Prati Maggi" ha così notevolmente contribuito a migliorare questa importante caratteristica.

Immagini del tratto dopo l'intervento di rinaturalizzazione (foto: Tiziano Putelli).



4. RINATURALIZZAZIONE DI HABITAT LACUSTRI

4.1 Posa di alberi frondosi in fondali lacustri

L'impiego di piante intere, meglio con la ceppaia, è una tipologia molto vantaggiosa per interventi di riqualificazione in ambito lacustre, poiché può utilizzare sia materiale eventualmente reperibile in loco sia quello risultante da tagli di alberi, che inoltre non necessita di alcun tipo di lavorazione, se non la perforazione del tronco per l'ancoraggio a un corpo morto.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

Grazie alla morfologia frondosa delle chiome, la presenza di piante è in grado di creare un eccellente substrato per gli organismi acquatici e degli ottimi rifugi per i pesci. Se le piante posate sono dotate di chiome frondose, gli ambienti che si verranno a creare risulteranno particolarmente graditi alla minutaglia. Possono essere impiegate sia conifere che latifoglie con dimensioni in lunghezza minime di 5-6 m e diametro della chioma minimo di 2-3 m. Per entrambe non si prevede alcun intervento di sfoltimento della chioma, se non potature minimali per agevolare le operazioni di trasporto e di posa del soggetto arboreo, dato che un'articolata ramificazione genera un ottimo intrigo vegetale utile come habitat di rifugio per l'ittiofauna. A parità di chioma dovranno essere preferiti alberi con minore diametro del tronco che facilitino quindi le operazioni di movimentazione, trasporto, posa e soprattutto impiego di corpi morti per l'affondamento.

Qualora fossero presenti ampie superfici di fondale disponibili per la posa di piante, ottimi risultati possono essere ottenuti ancorando insieme alcuni individui (fino a 3-4). Da esperienze maturate nel campo, si è visto come strutture più articolate, che realizzano dunque un più elevato grado di diversificazione dell'habitat, siano molto gradite all'ittiofauna.

In presenza di piante deperenti o molto inclinate che gravano sulla sponda, si possono realizzare habitat spondali, legando le chiome apicali a pali di legno, che vengono poi infissi nel substrato lacustre. Similmente agli ambienti fluviali, i rami frondosi che si immergono nell'acqua costituiscono preziosi habitat per l'ittiofauna. Questo tipo d'intervento, data la localizzazione in corrispondenza della sponda, assolve anche ad un'importante funzione di protezione spondale dall'azione erosiva del moto ondoso.

In merito alle operazioni necessarie per la realizzazione e posa di piante frondose, esse riguardano:

- Per l'appesantimento delle piante dovranno essere utilizzati corpi morti in calcestruzzo, di peso adeguato, appositamente realizzati impiegando un mattone forato, riempito con annegamento nel getto di un anello di collegamento in metallo e diametro minimo di 10 mm. Il numero dei corpi morti è in funzione delle dimensioni delle piante, con particolare riferimento al diametro del tronco.
- Per il collegamento tra i corpi morti e gli elementi vegetali andranno impiegate catene in acciaio zincato a caldo del tipo genovese con diametro dell'anello minimo di 8 mm, collegate ed ancorate mediante tirafondi a vite, false maglie, grilli, ecc. Anche tutti gli elementi di raccordo dovranno essere in acciaio zincato a caldo di diametro minimo uguale a quello delle catene. Tutti i materiali metallici dovranno essere di acciaio zincato a caldo o comunque dello stesso materiale, per non accentuare la formazione di correnti galvaniche che velocizzano i naturali processi di ossidazione, interferendo significativamente con la durabilità delle componenti impiegate negli ancoraggi.
- In cantiere, prima di avviare le operazioni di posa, ogni singola pianta andrà appesantita per garantirne l'affondamento con corpi morti, in numero sufficiente a garantire un leggero assetto negativo, a tutto vantaggio di una migliore movimentazione in acqua da parte degli operatori. I corpi morti dovranno essere ancorati agli elementi vegetali con catene e raccorderia adeguata, come specificato.
- Ogni pianta verrà trasportata nelle aree individuate con idonei mezzi di trasporto (nella maggior parte dei casi pontoni o chiatte galleggianti). La successiva movimentazione in acqua nelle aree di fondale, la posa, la verifica ed il completamento andranno eseguiti da subacquei. Ciascun soggetto dovrà essere disposto sotto la superficie lacustre, lungo la linea di massima pendenza della riva, con la chioma orientata verso valle; l'ancoraggio al

fondale sarà effettuato perforando il tronco per far passare all'interno un cavo di acciaio (vedi figura riportata), che a sua volta verrà collegato e legato a un corpo morto, permettendo lo zavorramento sul fondale del tronco.

- La distanza, che separa la parte superiore delle chiome e la superficie lacustre, dovrà essere valutata a seconda di ogni intervento: se presente attività di navigazione le chiome superiori dovranno risultare al di sotto di alcuni metri dai livelli minimi del lago, fino a valutarne, ad esempio in aree naturali, l'emergenza in superficie, realizzando anche una diversificazione degli ambienti spondali.

Posa di alberi frondosi nel Lago di Lugano a Lugano (Svizzera).

A sinistra: allestimento di albero frondoso con zavorra da riva.

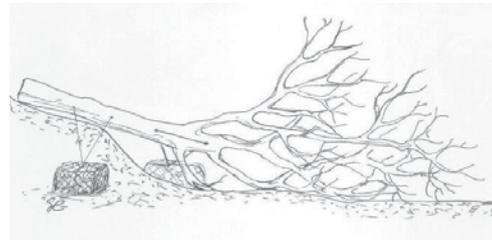
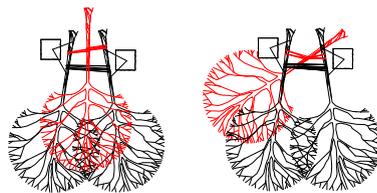
A destra: posa di albero frondoso con il supporto di sommozzatori.



Posa di alberi frondosi.

A sinistra: schema planimetrico delle modalità di posa ed ancoraggio dei gruppi di piante.

A destra: prospetto.



Posa di alberi frondosi.

Esempio di realizzazione nel Lago di Lugano a Lugano (Svizzera).



4.2 Posa di ceppaie

Sempre in ambito lacustre, rifugi di più semplice realizzazione sono rappresentati dalle ceppaie, all'interno delle quali varie specie ittiche, di tutte le dimensioni, possono trovare rifugi diversificati in relazione alla complessità strutturale del singolo elemento o della combinazione di più elementi.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

L'intervento consiste nel posizionare ceppaie sul fondale lacustre, la cui forma, articolata in un fitto e disordinato sistema di radici di diverse dimensioni, realizza habitat diversificati adattandosi ad ospitare diverse specie ittiche, nello specifico realizzando zone di rifugio e tane per pesci tendenzialmente di media e grossa taglia le quali, a seconda delle specie ittiche che colonizzeranno i luoghi, fungeranno da tane per i predatori oppure da rifugi dai predatori. A seconda della disponibilità di fondale, la tipologia può prevedere la posa di uno o più elementi, considerando migliore l'impiego

di più elementi a costituire una struttura complessa, dunque maggiormente articolata.

Per l'appesantimento delle ceppaie, atto a garantire un assetto negativo in acqua necessario alla posa sul fondale lacustre, dovranno essere utilizzati corpi morti in calcestruzzo, di peso unitario adeguato, appositamente realizzati impiegando un mattone forato riempito con annegamento nel getto di un anello di collegamento in acciaio zincato a caldo e diametro minimo di 8 mm. Il numero dei corpi morti è in funzione delle dimensioni della ceppaia o del sistema di ceppaie, con particolare riferimento al diametro del tronco.

Per il collegamento tra i corpi morti e le ceppaie andranno impiegate catene in acciaio zincato a caldo del tipo genovese con diametro dell'anello minimo di 8 mm collegate ed ancorate mediante tirafondi a vite, false maglie, grilli, ecc.. Anche tutti gli elementi di raccordo dovranno essere in acciaio zincato a caldo di diametro minimo uguale a quello delle catene. Per ogni ceppaia possono essere considerati come quantitativi minimi 4 m di catene (comunque da valutare in base alle dimensioni e alla forma dell'elemento o degli elementi), n. 4 tirafondi con viti e rondelle, n. 6 false maglie.

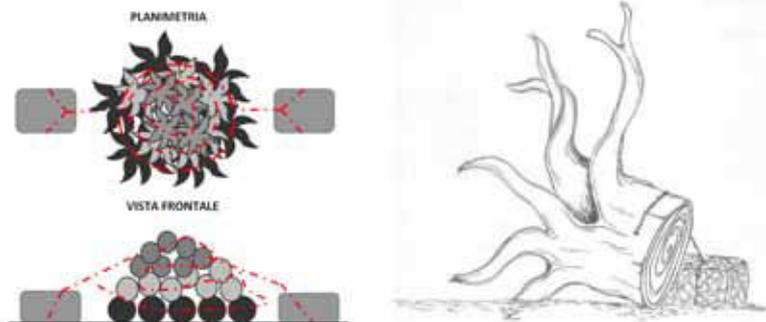
Tutti i materiali metallici dovranno essere di acciaio zincato a caldo o comunque dello stesso materiale, per non accentuare la formazione di correnti galvaniche che velocizzino i naturali processi di ossidazione, interferendo significativamente con la durabilità delle componenti impiegate negli ancoraggi.

In merito alle modalità realizzative, la posa di ceppaie prevede:

- In cantiere "su chiatta", prima di avviare le operazioni di posa, ogni singola ceppaia dovrà essere allestita ancorandola ai corpi morti, per garantirne l'affondamento, in numero sufficiente a consentire la permanenza della struttura sul fondale, nel contempo permettendo un'agevole movimentazione in acqua da parte dei mezzi e degli operatori. I corpi morti dovranno essere ancorati agli elementi vegetali con catene e raccorderia adeguata, come specificato.
- Ogni ceppaia verrà trasportata nelle aree individuate con idonei mezzi di trasporto (nella maggior parte dei casi pontoni o chiatte galleggianti). La successiva movimentazione in acqua nelle aree di fondale, la posa, la verifica ed il completamento andranno eseguiti da subacquei. Se impiegati più elementi, ogni gruppo di ceppaie dovrà essere posato realizzando una struttura piramidale, con una disposizione accatastata.



Posa di ceppaie nel Lago di Como (CO).
A sinistra: allestimento di ceppaie sulla chiatta.
A destra: particolare dell'ancoraggio delle ceppaie ai corpi morti con catene.



Posa di ceppaie.
A sinistra: schema delle modalità di posa e ancoraggio di ceppaie.
A destra: prospetto.

Posa di ceppaie nel Lago di Lugano a Lugano (Svizzera).

A sinistra: posa su fondale con il supporto di sommozzatori.

A destra: gruppi di ceppaie posate sul fondale.



4.3 Posa di legnaie sommerse

La costruzione delle cosiddette legnaie è un'antica tecnica utilizzata dai pescatori di lago, finalizzata alla cattura e al prelievo del pesce, mediante la posa sui fondali lacustri di gruppi di fascine. Nell'ambito di interventi di riqualificazione lacustre, tale tipologia viene realizzata con modalità affini per creare preziose aree di rifugio e zone di deposizione.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

L'intervento prevede l'impiego di fascine di legna (in genere di latifoglie, evitando il castagno, ricco di tannino, e le piante che, come il tiglio, hanno poca resistenza all'azione disgregatrice dell'acqua), che vengono tra loro assemblate a formare file di fascine sovrapposte, generando una struttura articolata e ramificata, idonea a costituire aree di rifugio per pesci, grazie alla diversa disposizione delle fascine e, nello specifico, e importanti siti di deposizione dei nastri ovarici, con particolare riferimento a quelli del pesce persico, grazie alle ramificazioni fini delle ramaglie.

Ciascuna fascina risulta infatti formata da raggruppamenti di ramaglia con diametro massimo di 4-5 cm, di lunghezza minima di 2 m e diametro complessivo minimo di 0,60 m. Gli elementi, realizzati con materiale legnoso tra le qualità maggiormente resistenti alla disgregazione in acqua, dovranno presentare la parte più ramificata e sottile in un unico verso.

In merito alle modalità realizzative, la costruzione e la posa di legnaie prevede:

- Per l'appesantimento delle fascine devono essere utilizzate bacchette di ferro (del tipo per armature di cemento armato) di diametro minimo 20 mm in lunghezza di 2 m ed in numero minimo di 3 per fascina. Il numero delle bacchette di ferro è in funzione delle dimensioni del diametro delle ramaglie utilizzate e della freschezza del legname; si inseriscono all'interno delle fascine e vengono legate a loro volta al fil di ferro di chiusura, per evitare che nella movimentazione degli elementi si possano sfilare.
- Le bacchette possono eventualmente essere sostituite da corpi morti in calcestruzzo. In questo caso, per il collegamento tra i corpi morti e gli elementi vegetali, andranno impiegati spezzoni di catene in acciaio zincato a caldo del tipo genovese con diametro dell'anello minimo di 6 mm, collegate ed ancorate mediante tirafondi a vite, false maglie, grilli, ecc., e correttamente fissate agli elementi, per evitarne lo sgancio accidentale e la disgregazione del materiale vegetale.
- Le fascine andranno posate per strati sovrapposti, con disposizione ortogonale tra ogni singolo strato, fino ad ottenere la struttura e le dimensioni desiderate. Per la realizzazione di ogni strato verranno predisposte file parallele di fascine distanti l'una dall'altra di almeno un diametro delle fascine stesse.
- Dato che l'impiego delle legnaie è particolarmente idoneo alla creazione di zone di deposizione dei nastri ovarici del pesce persico, la posa deve avvenire alle profondità note per il sito d'intervento in cui la specie depone. Il rispetto dei parametri di profondità risulta

vincolante per la riuscita dell'intervento con riferimento alla sua finalità ecologica. Qualora le pendenze delle aree di posa fossero accentuate, le fascine dovranno essere picchettate nella misura sufficiente a garantirne l'immobilità nel fondale.



Posa di legnaie sommerse nel Lago d'Iseo (BG).

A sinistra: carico delle legnaie sulla chiatta per il trasporto fino al punto di immersione e posa.

A destra: immersione della legnaia.

A sinistra: particolare dell'intreccio delle fascine nella legnaia.

A destra: particolare di zona di rifugio tra le fascine.

4.4 Posa di alberelli sospesi sul fondale

L'intervento prevede l'impiego di piccoli alberi (preferibilmente conifere) per la realizzazione di aree costituite da gruppi di alberelli posati verticalmente sul fondale lacustre a sesto di posa regolare, impiegati quali siti di deposizione e zone di caccia e rifugio.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

L'intervento prevede l'impiego di alberelli posati verticalmente sul fondale lacustre a sesto di posa regolare, idonea alla creazione di habitat che si sviluppano in direzione verticale, graditi da parte dell'ittiofauna come siti di deposizione di nastri ovarici (pesce persico) o come zone di rifugio/caccia per predatori (luccio, ecc.).

Ai fini della realizzazione di questi habitat è consigliata la posa di gruppi a formare delle aree di alberelli, eventualmente replicando la realizzazione di aree in più zone lungo le fasce sub-litorali. Questi dovranno avere un'altezza minima di 2 m. A parità di caratteristiche andranno preferite conifere aventi, possibilmente, un'abbondante presenza di aghifoglie. Potranno essere impiegati i cimali di conifere di grandi dimensioni, anche se l'impiego di alberelli interi, dotati anche di apparato radicale, rappresenta la soluzione più appropriata, poiché la ceppaia costituisce un elemento di diversificazione importante e, inoltre, facilita le operazioni di posa in acqua, con particolare riferimento all'ancoraggio sul fondale.

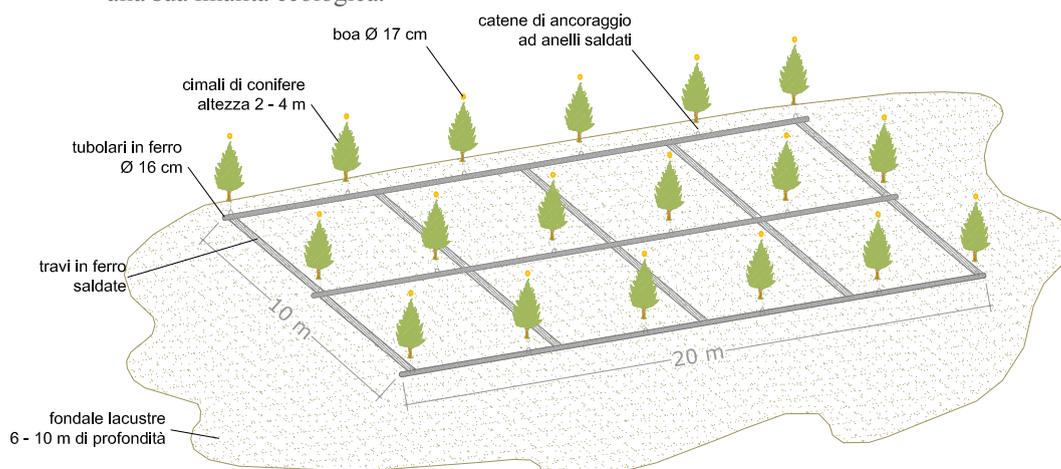
In merito alle modalità realizzative, la posa degli alberelli prevede:

- In cantiere fuoriterra, ciascuna pianta potrà essere allestita mediante ancoraggio a corpi morti e catene. I corpi morti saranno in genere costituiti da calcestruzzo, mentre gli elementi di raccordo dovranno essere in acciaio zincato a caldo di diametro minimo uguale a quello delle catene.

- In alternativa, secondo la disponibilità dei materiali e della grandezza delle piante, è possibile ancorare gruppi di alberelli (n. 3-4) ad un unico corpo morto; oppure è possibile realizzare la struttura sul fondale lacustre, mettendo in posa i corpi morti, collegando le catene e realizzando una maglia regolare e, successivamente, provvedere all'ancoraggio degli alberelli alle catene mediante l'ausilio di personale subacqueo, portandoli sul fondo attraverso corpi morti provvisori che ne permettano l'affondamento.
- Per il tiraggio verticale degli alberelli, qualora il galleggiamento naturale non fosse sufficiente, andrà prevista l'installazione di boe galleggianti.
- Come ricordato per le legnaie, qualora l'inserimento degli alberelli sia finalizzato soprattutto alla creazione di zone di deposizione dei nastri ovarici del pesce persico, la posa deve avvenire alle profondità note per il sito d'intervento in cui la specie depone. Il rispetto dei parametri di profondità risulta vincolante per la riuscita dell'intervento, con riferimento alla sua finalità ecologica.

Posa di alberelli sospesi sul fondale.

Schema grafico della struttura portante e degli alberelli ancorati.



Esempio di realizzazione nel Lago d'Iseo (BG).

A sinistra: struttura portante con alberelli in fase di immersione e posa.

A destra: nastri ovarici di pesce persico depositi su alberelli sospesi posati sul fondale. A destra: alberelli colonizzati dai pesci.



4.5 Piantumazioni di specie acquatiche sommerse ed emergenti

Un particolare intervento di riqualificazione dei fondali lacustri, lungo la fascia litorale all'interno della zona eufotica (che identifica lo strato di acqua più superficiale, dove vi è penetrazione della luce), riguarda la piantumazione di macrofite acquatiche. L'intervento può essere parimenti realizzato lungo fasce spondali di corsi d'acqua che non presentano deflussi idrici elevati, che possono dunque ospitare una vegetazione affine a quella che costeggia i bacini lacustri.

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

L'intervento prevede la messa a dimora di piantine di specie acquatiche autoctone ed ecologicamente compatibili con le zone litorali d'impianto. Riguardo la piantumazione di idrofite sommerse, ai fini del corretto ancoraggio al fondale dei soggetti, è consigliabile l'impiego di piantine già adulte e ben strutturate, che quindi siano dotate di un apparato radicale consistente, tale da ridurre il rischio di

stradicamenti soprattutto nelle prime fasi successive l'impianto; unitamente a questo è necessario comunque operare un affrancamento artificiale, indispensabile fino a quando le piantine non abbiano sviluppato un nuovo apparato nel substrato d'impianto. La peculiarità, rispetto ad altre tipologie di interventi di riqualificazione, riguarda l'impiego di materiale vegetale vivo, che dunque nel tempo, qualora ben insediato, oltre a non necessitare di interventi successivi, si sviluppi e colonizzi superfici di fondale limitrofe, che possono divenire molto più ampie delle superfici d'impianto.

La presenza di un fondale lacustre vegetato dà vita a preziosi habitat per pesci e per gli invertebrati presenti; gli avannotti e i pesci di taglia minore trovano validi rifugi dai predatori, nascondendosi tra le erbe acquatiche più folte, mentre le specie predatrici approfittano della copertura vegetale per tendere i loro agguati. Gli invertebrati acquatici colonizzano il fusto e le foglie delle macrofite, la cui presenza incrementa notevolmente la diversità delle comunità macrobentoniche litorali. La vegetazione rappresenta poi una fonte alimentare, diretta per gli organismi fitofagi, indiretta per quelli detritivori, che si cibano dei resti in decomposizione. Infine, i nuclei vegetati più strutturati sono un ottimo habitat riproduttivo per le specie che prediligono deporre ad esempio nastri ovarici, come quelli caratteristici del pesce persico.

In merito alle modalità di esecuzione, a seconda del gradiente idrico presente nelle aree d'impianto, si distinguono specifiche tipologie d'intervento, impiegando specie acquatiche caratteristiche del tipo di ambiente presente. La vegetazione lungo le rive, che dà vita ad habitat acquatici graditi all'ittiofauna, è afferibile al canneto, dunque a macrofite acquatiche emergenti, mentre in presenza di battenti idrici superiori, si impiegano specie acquatiche sommerse. Nel primo caso, la **realizzazione di rive vegetate a canneto** può avvenire mediante diverse modalità, che variano a seconda delle condizioni delle rive (acclività, substrato) e delle sue finalità (ad esempio in presenza di lievi dissesti si adottano delle tipologie con effetto anche di consolidamento). Qualora non vi siano problemi di stabilità delle sponde, le rive si presentino poco o non acclivi e vi sia un buon substrato d'impianto, è possibile posare direttamente le zolle di canneto lungo la sponda. Diversamente, si impiegano altre tipologie, come dettagliato di seguito. Gli interventi descritti interessano in genere la riva. In seguito all'affermazione dei canneti, nota la dinamica di diffusione della vegetazione mediante stoloni, le macrofite tenderanno a colonizzare le prime fasce sub-litorali, fino a battenti idrici anche prossimi ad un metro, creando habitat acquatici graditi all'ittiofauna. Le modalità d'impianto sono le seguenti e possono interessare sia rive lacustri che fasce spondali di corsi d'acqua a lento deflusso:

- Le zolle di canneto dovranno essere posate fittamente (sesto d'impianto non superiore a 0.5 x 0.5 m), partendo dal bordo inferiore della scarpata e procedendo verso l'alto.
- Qualora vengano impiegate piante adulte, nel periodo di riposo vegetativo o a inizio primavera dovranno essere tagliate le piante a circa 10-15 cm dal terreno e poi posate nel breve periodo o eventualmente conservate in aree o bacini con terreno sempre umido.
- Nel primo mese dall'impianto, le zolle, se non già presenti in terreno umido per la prossimità ai livelli idrici, dovranno essere mantenute umide.
- In presenza di buone condizioni soprattutto di approvvigionamento idrico, le specie del canneto tendono in breve tempo ad affermarsi ed accrescersi, come documentato dalle immagini seguenti.

In altri ambiti, ad esempio in presenza di deflussi maggiori, oppure con situazioni di instabilità delle rive, è possibile realizzare l'intervento impiegando strutture più articolate, che sono rappresentate da rulli spondali vegetati:

- Le zolle di canneto, insieme a del ghiaione e terra, sono avvolte con reti di cocco (700-900 g/mq di circa 1.5 m di larghezza) a formare un rullo (30-40 cm di diametro), legato con cordicelle di cocco con interasse ravvicinato di circa mezzo metro.
- L'ancoraggio alla riva avviene mediante l'infissione di coppie di pali che si intersecano a cavallo del rullo, inserendoli con interasse di 2 metri.
- Le operazioni di posa devono consentire di immergere parzialmente il rullo ma non di sommergerlo completamente, col rischio di pregiudicare la crescita dei nuovi culmi.

Il periodo idoneo per svolgere l'intervento è quello tardo invernale/inizio primaverile.

Impianto del canneto, mediante zolle.

Esempio di realizzazione sul Lago di Comabbio (VA). A sinistra: impianto di zolle adulte di Mazzasorda (*Typha latifolia*), precedentemente tagliate poi posate, maggio 2009. A destra: sviluppo vegetativo del canneto, agosto 2009.



A sinistra: impianto di zolle adulte di Mazzasorda e Cannuccia di palude (*Phragmites australis*) ed anche di Giaggiolo (*Iris pseudacorus*), precedentemente tagliate poi posate, giugno 2008. A destra: sviluppo vegetativo del canneto, agosto 2008.



Impianto del canneto, mediante rulli.

Esempio di realizzazione sul Lago di Comabbio (VA). A sinistra: rulli spondali vegetati e pali in legno per l'ancoraggio del canneto. A destra: posa dei rulli spondali di canneto lungo la riva.



A sinistra: ancoraggio del rullo con pali in castagno, aprile 2007. A destra: particolare del rullo posato e ancorato, aprile 2007.





Impianto del canneto, mediante rulli.

Esempio di realizzazione sul Lago di Comabbio (VA). A sinistra: sviluppo vegetativo ottimale dei rulli semi-sommersi, luglio 2007. A destra: mancato attecchimento dei rulli rimasti completamente sommersi, luglio 2007.

In ambiti lacustri, un particolare intervento di rinaturalizzazione riguarda la **messa a dimora di piante acquatiche radicate sommerse**. In tal caso l'intervento viene realizzato a diverse profondità (in genere comprese nei primi 6-8 metri dal pelo libero e dipendente dai gradi di trasparenza delle acque) e su idonei substrati secondo le esigenze ecologiche delle specie. L'idoneità dei siti d'impianto e le operazioni di posa dovranno essere valutate e realizzate da attività subacquea, che andrà in primo luogo a identificare le specie idonee da impiegare per l'intervento e soprattutto le aree ed i *range* batimetrici ottimali per la piantumazione.

Le esperienze di riferimento in ambito marino riguardano interventi di protezione ed ampliamento di *Posidonia oceanica* con tecniche di ingegneria naturalistica.

Data la mancanza di consolidate esperienze in ambito lacustre, viene di seguito descritto un intervento sperimentale di rinaturalizzazione di un tratto di fondale lacustre effettuato nel Golfo di Lugano. Le specie impiegate sono state prelevate in altre zone del medesimo bacino e ripiantumate nelle aree individuate. Con riferimento alle immagini riportate, l'attività è stata condotta nel modo seguente:

- gli operatori subacquei prelevano piantine adulte di *Vallisneria spiralis* e di *Myriophyllum spicatum* in aree con coperture dense, ponendo particolare attenzione a non danneggiare gli apparati radicali e selezionando i soggetti meglio strutturati;
- le piantine prelevate vengono trasportate in secchi d'acqua su imbarcazioni nei siti d'impianto;
- durante il trasporto le piantine vengono selezionate, raccogliendole in gruppi monospecifici e polispecifici a seconda delle esigenze delle specie e degli obiettivi dell'intervento e costituendo dei piccoli mazzetti legati insieme con spago;
- più gruppetti vengono a loro volta uniti mantenendone la facilità di divisione, per agevolare le operazioni di trasposto verso i siti di impianto, in modo tale da ridurre il numero di trasferimenti verticali dei sommozzatori;
- gli operatori subacquei, una volta sul fondo con i gruppetti di piante predisposti ed i tondini in ferro necessari all'ancoraggio, eseguono le operazioni di messa a dimora. Con un piccolo attrezzo aprono una buca di impianto di dimensioni idonee ad accogliere l'apparato radicale dei soggetti, inseriscono e rincalzano le piante, picchettano nel substrato i tondini passati all'interno del laccio in spago che viene lasciato in posa (in breve tempo degradato dall'habitat di impianto, ma che nei primi tempi garantisce la permanenza della posa soprattutto nei casi di aree soggette a venti, onde e correnti);
- per ridurre gli stress da trapianto, è consigliabile potare i fusti a circa 20 cm dalla base, se non già eseguito in fase di preparazione e selezione delle piante in gruppetti;
- nelle settimane successive l'intervento, verificare la tenuta degli ancoraggi e l'attecchimento delle piantine, eventualmente intervenendo per svolgere gli aggiustamenti necessari.

Messa a dimora di piante acquatiche radicate sommerse.

Esempio di realizzazione nel Lago di Lugano. A sinistra: selezione di macrofite adulte autoctone con apparati radicali integri. A destra: legatura di gruppi di macrofite della stessa specie.



A sinistra: raggruppamento e legatura delle macrofite (*Vallisneria spiralis*) e preparazione dei picchetti in ferro. A destra: trasporto dei gruppi di macrofite da parte di sommozzatori.



A sinistra: particolare del sistema di ancoraggio della pianta con picchetto in ferro. A destra: sviluppo vegetativo della piantina nel fondale lacustre.



Sviluppo vegetativo delle piantine messe a dimora.



4.6 Posa di letti di frega

Un altro intervento che si rivela da alcuni anni molto utile a supporto delle specie lacustri è la posa dei letti di frega. Ci si riferisce in particolare al caso delle specie a deposizione litorale litofila, come alborelle, agoni e lavarelli (questi ultimi non nativi italiani ma di grande interesse commerciale locale nell'area dei grandi laghi prealpini).

Finalità dell'opera e caratteristiche strutturali

L'allestimento dei letti di frega è un'operazione che deve essere compiuta in periodo immediatamente pre-riproduttivo.

Tale intervento consiste nella sistemazione di uno strato in ghiaia pulita lungo le rive lacustri, realizzando un importante habitat, idoneo come substrato per la deposizione delle uova.

Concretamente, in acque basse litorali viene posato uno strato di circa 30 cm di ghiaia, avente granulometria 2-5 cm, steso omogeneamente con semplici rastrelli.

Più tale substrato resta pulito, migliore è la sua efficacia come letto di deposizione delle uova. Per mantenere un grado di pulizia del substrato adeguato ed evitare che l'eccessivo sviluppo di *periphyton* limiti l'attività di deposizione da parte dei pesci, i letti di frega devono essere periodicamente puliti mediante rastrellamento dell'area, chiaramente solo fino all'avvio dell'attività di riproduzione.

Qualora l'attività di posa dei letti di frega preveda anche la produzione di materiale ittico da trasferire in altre parti, per il ripopolamento o la reintroduzione della specie in oggetto in aree dove non è possibile compiere questo tipo di attività o dove la specie è scomparsa (una volta evidentemente verificata la compatibilità genetica del materiale e la sua qualità sanitaria), può essere utile posare parte della ghiaia all'interno di cassette in plastica, ben nascoste sul fondo; ciò consente di asportare il substrato, una volta utilizzato dai pesci per la deposizione, e trasferirlo, con le uova ancora aderenti ai sassi, a strutture ittigeniche oppure direttamente agli ambienti di reintroduzione, dove esse potranno schiudersi e dare vita ad un nuovo nucleo fondatore per la specie.

Questo tipo di intervento si è rivelato particolarmente utile in questi anni in progetti di reintroduzione e ripopolamento dell'alborella (*Alburnus alburnus alborella*) nei grandi laghi prealpini (Lago Maggiore, Lago di Como), per la quale operazioni come la riproduzione artificiale di esemplari adulti maturi o il trasferimento di animali in vasche di stabulazione, sono assai difficoltose e fanno registrare tassi di mortalità estremamente elevati, risultando piuttosto rovinose per la popolazione, anziché di aiuto. Può essere utile, in situazioni di particolare rischio di predazione delle uova, recintare i letti con reti di protezione, aventi magliatura sufficientemente fine.



Momenti della posa di letti di frega per l'alborella sul Lago Maggiore (VA).

Letti di frega allestiti sul Lago Maggiore (VA).



Cassette in plastica posate nell'area di frega e poi riempite con uno strato di circa 5 cm di ghiaia.



Alborelle in frega sui letti di ghiaia posati in aree litorali del Lago Maggiore (giugno 2003).



Reintroduzione di alborella nel Lago di Lugano. Trasferimento di cassette (su cui è avvenuta la deposizione da parte dell'alborella del Lago Maggiore) in aree recintate sul litorale del Lago di Lugano in comune di Lavena Ponte Tresa (VA).



PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI

Oggetto di questo capitolo sono gli interventi di mitigazione degli effetti delle opere artificiali di sbarramento fluviale, realizzate per diversi motivi che impongono di fatto l'interruzione della percorribilità dei corsi d'acqua da parte dei pesci.

In effetti i corsi d'acqua, in passato travolti loro malgrado dallo sviluppo industriale e tecnologico dei sistemi di sfruttamento idrico, sono stati teatro (come tante altre realtà naturali) di un avanzamento rapido dell'antropizzazione del tutto asincrono con lo sviluppo di una conoscenza e di una coscienza ecologiche, in grado di valutare e prevenire gli eventuali effetti della realizzazione di tali opere sugli ecosistemi fluviali (Ward & Stanford, 1989). È stato così che opere di sfruttamento della risorsa idrica si sono diffuse in tutto il territorio, in particolare in quello lombardo (rivelatosi particolarmente strategico non solo per la propria collocazione geografica e per gli interessi economici sviluppatisi, ma anche perché ricco di acque e corsi d'acqua), creando nella stragrande maggioranza dei casi, laddove prevedessero opere di sbarramento della continuità fluviale, veri e propri ostacoli agli spostamenti dei pesci.

Continuità e percorribilità fluviale sono caratteristiche naturali dei corsi d'acqua e spesso anche di reti idrologiche complesse, comprendenti ecosistemi diversi interconnessi tra di loro e più o meno liberamente percorribili da parte delle specie ittiche vagili (che si spostano per diversi motivi legati alla propria biologia). Per alcune specie lo spostamento può anche costituire un elemento indispensabile allo svolgimento del loro intero ciclo biologico e dunque alla loro stessa sopravvivenza; è il caso per esempio delle specie migratrici obbligate, che devono poter compiere i loro spostamenti stagionali da oppure verso il mare per lo svolgimento della riproduzione.

Con la crescita di una coscienza ecologica nella società moderna degli ultimi decenni, sono stati sviluppati strumenti di rilevazione dello stato degli ecosistemi fluviali e di mitigazione delle alterazioni artificiali, tra cui l'impercorribilità per i pesci, sempre più efficaci, tanto che oggi si può considerare che siano stati elaborati e sviluppati sistemi di ripristino della percorribilità adatti alle situazioni più disparate. Più recentemente è inoltre avvenuto l'ingresso dell'ecologia fluviale, dei suoi principi e delle finalità, nella politica locale di governo del territorio, che ha anche consentito lo sviluppo di strumenti decisionali a favore del ripristino e della conservazione della continuità dei corsi d'acqua. Oggi si può affermare di disporre degli strumenti conoscitivi e delle tecnologie necessari alla progettazione di opere su aste idriche che non implicino l'interruzione della percorribilità da parte dei pesci e alla mitigazione degli effetti degli sbarramenti che interrompono la continuità fluviale, in qualsivoglia forma e condizione essi si presentino; per quanto concerne invece gli strumenti decisionali a disposizione delle amministrazioni, molto lavoro deve essere ancora fatto, sia nel campo della prevenzione sia in quello della mitigazione. Il presente capitolo si propone di fatto come strumento tecnico a disposizione dei decisori e di tutti gli operatori del settore per la valutazione, lo studio, la pianificazione, la progettazione e la realizzazione di interventi di mitigazione delle opere di interruzione della continuità fluviale, particolarmente calato nella realtà territoriale della nostra Regione.



A proposito di quest'ultimo aspetto, si rimanda alla Carta fornita in allegato al presente quaderno, per l'approfondimento sullo stato dell'arte in materia di frammentazione della continuità fluviale e percorribilità ittica e in merito alle iniziative di deframmentazione realizzate, in corso e in progetto in Regione Lombardia (si veda anche l'Appendice A).

Con il Manuale è fornita in allegato una mappa che riassume lo stato dell'arte in materia di frammentazione della continuità fluviale e di iniziative di deframmentazione realizzate, in corso e in progetto nel reticolo idrografico principale della Regione Lombardia.

È evidente che laddove esistano opere attive di sbarramento artificiale della percorribilità fluviale da parte dei pesci, oppure dismesse ma il cui smantellamento risulti, a seguito di una valutazione costi/benefici, meno conveniente (dal punto di vista economico, ambientale e sociale) rispetto alla sua "ittiocompatibilizzazione", non resta che realizzare mitigazioni in grado di ripristinare tale condizione, necessaria alla sopravvivenza di gran parte delle popolazioni ittiche presenti nei reticoli idrografici interrotti.

Tali opere di mitigazione sono le cosiddette "scale di risalita" o meglio i "passaggi artificiali per pesci". Essi possono essere di molti tipi diversi e, anche all'interno della medesima tipologia, se ne possono individuare con caratteristiche strutturali e funzionali tra le più svariate, adeguate alle condizioni reali di ciascuna singola opera di interruzione. La progettazione e realizzazione di un passaggio artificiale per pesci in effetti si presentano come una disciplina trasversale, che utilizza dati, conoscenze e tecnologie traendole da molteplici settori; in particolare essa richiede la competenza e le conoscenze che solo un *team* di esperti nei campi dell'ecologia fluviale, dell'idrobiologia, dell'ittologia, dell'ingegneria idraulica e naturalistica, ed eventualmente (a seconda dei casi) anche dell'ingegneria forestale, della geologia e dell'inserimento paesaggistico, può assicurare. Per garantire la progettazione e la realizzazione di opere realmente efficaci, l'approccio a questa materia non può che essere multidisciplinare, come anche dimostrato nei fatti da molti passaggi per pesci realizzati in passato, quasi o del tutto non funzionanti, la cui progettazione non aveva tenuto conto di quanto sopra. Affinché un passaggio per pesci svolga efficacemente le proprie funzioni è infatti in primo luogo necessario accertare preliminarmente quale sia la tipologia più rispondente alla situazione specifica, con particolare riferimento non solo a condizioni ambientali, morfologiche e fisiche come il dislivello, le portate, la disponibilità di ulteriore spazio oltre al letto fluviale utilizzabile lungo le rive, ma anche alle condizioni e alle caratteristiche ecologiche del corso d'acqua, in particolare alle caratteristiche biologiche, fisiologiche ed etologiche delle specie ittiche presenti e native dell'ecosistema fluviale di interesse.

Fino ad oggi le specie per le quali è stata realizzata la maggior parte dei passaggi artificiali sono quelle appartenenti alla famiglia dei Salmonidi, in particolare trote e salmoni (nel caso di paesi esteri); ciò è avvenuto sia per il fatto che effettivamente i corsi d'acqua vocazionali per queste specie si presentano, per le loro caratteristiche fisiche e morfologiche, anche particolarmente vocati ad ospitare opere di sfruttamento della risorsa idrica, sia perché queste specie spesso rappresentano le uniche componenti biologiche fluviali di interesse economico, per la pesca e/o per il turismo.

Oggi, per fortuna, l'orientamento delle amministrazioni è cambiato e la fauna ittica non è più considerata unicamente una risorsa economica ma anche una risorsa naturale e, in quanto tale, la priorità è assegnata alle emergenze naturalistiche, cioè alle specie di interesse conservazionistico, native e per le quali lo spostamento in acqua costituisce una condizione necessaria alla sopravvivenza. Per questo, oggi una fase fondamentale della pianificazione, progettazione e realizzazione di passaggi artificiali per pesci deve essere dedicata allo studio degli ecosistemi fluviali di interesse, all'approfondimento conoscitivo dell'ittiofauna presente e all'individuazione e allo studio delle specie ittiche *target*.

A seconda delle specie coinvolte, delle condizioni ambientali e, non da ultime, anche delle risorse finanziarie, possono essere pianificate, progettate e realizzate diverse tipologie di soluzioni; quelle più frequentemente realizzate sono il "passaggio a bacini successivi" e la "rapida artificiale". Oltre ad essi vengono anche utilizzati, in casi molto particolari, altri tipi di passaggio meno frequenti, quali i cosiddetti "passaggi tipo Denil", "ascensori o chiuse" o tipi di passaggi sito-specifici o specie-specifici, come è il caso dei "passaggi in condotta" e "passaggi per anguille". Come si è detto, la scelta della tipologia di passaggio deve essere in primo luogo condizionata dalle specie ittiche individuate quali *target* dell'opera di mitigazione allo studio. Per questo si propone di seguito un approfondimento che spiega l'importanza dei passaggi artificiali per pesci per gli obiettivi di conservazione faunistica, che devono nei fatti orientarne la pianificazione e la progettazione.

Questa parte del manuale si articola nei seguenti capitoli:

- PERCORRIBILITÀ FLUVIALE E CONSERVAZIONE FAUNISTICA, in cui sono ripresi tutti gli aspetti che spiegano l'importanza ecologica e faunistica del ripristino della continuità fluviale e/o della percorribilità da parte della fauna ittica;
- RIFERIMENTI NORMATIVI;
- PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO DELLA PERCORRIBILITÀ FLUVIALE, in cui sono illustrate le diverse fasi della programmazione e dell'esecuzione di piani di deframmentazione fluviale, tra le quali la progettazione dei passaggi per pesci descritta nel dettaglio ed il monitoraggio della funzionalità dei passaggi.

5. PERCORRIBILITÀ FLUVIALE E CONSERVAZIONE FAUNISTICA

L'urgenza di individuare strumenti di pianificazione degli interventi di ripristino della percorribilità fluviale deriva dal ruolo determinante che la continuità dei corsi d'acqua riveste nella conservazione del patrimonio ittico. Essa costituisce di fatto un elemento essenziale nel definire l'*home range* (letteralmente "l'area di casa") di specie ittiche dotate di vagilità (cioè naturalmente adattate ad effettuare spostamenti più o meno grandi, per compiere le diverse fasi del proprio ciclo vitale). Tale percorribilità può, inoltre, rivelarsi necessaria per assicurare la conservazione delle popolazioni ittiche, favorendone la resilienza ad eventi catastrofici improvvisi di varia natura che possono alterare repentinamente le condizioni ambientali attuali (eventi naturali quali alluvioni e piene rovinose o eventi artificiali quali interventi di alterazione strutturale di tratti di corsi d'acqua che ne inficiano la vocazionalità naturale), in quanto permette ai pesci di spostarsi e colonizzare tratti fluviali più ospitali; essa, inoltre, consente a piccole popolazioni o sub-popolazioni di mantenere il contatto di flusso genico (*gene flow*) con altre popolazioni e sub-popolazioni, essenziale per il "rinnovo" delle proprie caratteristiche ereditarie e dunque per il proprio successo adattativo (*fitness*).

Di fatto, la maggior parte delle specie ittiche ha l'esigenza di effettuare spostamenti lungo i corsi d'acqua per motivi di carattere trofico, legati alla ricerca del cibo, e/o per motivi di carattere riproduttivo, dettati dalla necessità di raggiungere siti idonei alla deposizione e schiusa delle uova e all'accrescimento dei primi stadi vitali, che generalmente sono i più delicati. Questi spostamenti possono avvenire nell'arco temporale di una giornata, di una stagione, di un anno o di più anni e compiersi nell'ambito del bacino idrografico, oppure da o per il mare (Nikolsky, 1993).

Quando le migrazioni comportano il passaggio dall'acqua dolce, ove si è realizzato l'accrescimento, all'acqua di mare, ove avverrà la riproduzione, si parla di specie catadrome, di cui la più nota è l'anguilla (*Anguilla anguilla*), che dai corsi d'acqua migra fino al Mar dei Sargassi, spostandosi per migliaia di chilometri. Nel caso in cui una specie, per riprodursi, risalga i corsi d'acqua dopo essersi accresciuta in mare, si parla di specie anadrome, alle quali appartengono ad esempio i salmoni (*Salmo salar*, *Oncorhynchus* sp.) e gli storioni (*Huso huso*, *Acipenser* spp.). Oltre a questi grandi migratori in grado di percorrere migliaia di chilometri, numerose specie si spostano, spinte da esigenze diverse, per tratti più modesti, rimanendo all'interno del medesimo corso d'acqua o bacino idrografico. Un tipico esempio è quello delle trote (per la nostra Regione: trota marmorata, *Salmo (trutta) marmoratus*, e trota fario, *Salmo (trutta) trutta*), che compiono brevi spostamenti nell'arco della giornata per raggiungere i siti di alimentazione, molto vicini alle zone di rifugio, mentre in autunno, all'approssimarsi del periodo riproduttivo, effettuano spostamenti verso monte di maggiore entità e risalgono i fiumi per raggiungere aree caratterizzate da parametri chimico-fisici e strutturali (torrenti e piccoli rii con acque relativamente basse e fondali ghiaiosi) favorevoli alla deposizione e incubazione delle uova. Anche in ambiente lacustre si verificano notevoli migrazioni nell'ambito dello stesso lago, oppure verso i corsi d'acqua ad esso collegati. Ad esempio, i coregoni (*Coregonus* spp.) compiono migrazioni verticali stagionali lungo la colonna d'acqua, localizzandosi alle profondità più idonee dal punto di vista termico e trofico. Altro esempio è quello della trota lacustre (*Salmo (trutta) trutta* forma *lacustris*) che, in periodo riproduttivo, risale gli immissari anche per lunghi tratti per raggiungere le zone di deposizione. In misura minore risalgono gli immissari alcuni Ciprinidi, quali il cavedano (*Leuciscus cephalus*), la lasca (*Chondrostoma genei*), i barbi (per la nostra Regione: barbo comune, *Barbus plebejus*, e barbo canino, *Barbus meridionalis caninus*),

La percorribilità fluviale è un requisito essenziale del reticolo idrografico regionale per la gran parte delle specie ittiche native lombarde.

l'alborella (*Alburnus alburnus alborella*) i quali, come tutti i Ciprinidi, prediligono per la frega il periodo primaverile-estivo, ma anche specie appartenenti ad altre famiglie quali il Gadide bottatrice (*Lota lota*).

Alla luce di tutto ciò, risulta evidente che l'interruzione di un corso d'acqua, oltre a comportare alterazioni di tipo strutturale, tali a volte da comprometterne la stessa vocazionalità dell'ambiente acquatico, costituisce sicuramente un ostacolo spesso insormontabile per le migrazioni della fauna ittica. Ciò si può tradurre non soltanto in una limitazione delle possibilità di riproduzione o di accrescimento adeguato, e quindi della sopravvivenza, ma anche, a lungo termine, in una frammentazione della popolazione di una specie in gruppi isolati riproduttivamente, con conseguente diminuzione della variabilità genetica.

Questi problemi non riguardano dunque solo le specie grandi migratrici, ma anche tutte quelle specie che migrano su brevi distanze, come i Salmonidi nativi delle acque lombarde e i Ciprinidi sopra menzionati (Quiròs, 1989).

Un passaggio artificiale per pesci, proponendosi come intervento di mitigazione delle opere di interruzione della percorribilità fluviale da parte della fauna ittica, rappresenta di fatto un vero e proprio "corridoio ecologico", in quanto contribuisce al mantenimento dell'equilibrio dell'ecosistema fluviale, non solo intervenendo direttamente sulla fauna ittica e dunque, indirettamente, sui rapporti tra essa e le altre componenti ecosistemiche, ma anche, a seconda delle proprie caratteristiche costruttive e strutturali, su altri elementi e comparti, biotici o abiotici, degli ecosistemi fluviali.

La continuità fluviale non riguarda esclusivamente le specie migratrici, ma anche la maggior parte delle specie dulcicole, tra cui anche specie sedentarie.

6. RIFERIMENTI NORMATIVI

A complemento dei riferimenti normativi già citati nell'introduzione al presente manuale, si riportano di seguito i riferimenti specifici per quanto concerne i passaggi per pesci.

A livello nazionale, i principi di salvaguardia e tutela del patrimonio ittico a vantaggio della pesca hanno portato il legislatore, già negli anni '30, ad indicare, nel caso di realizzazione di uno sbarramento su un fiume, la necessità di costruire delle scale di risalita per i pesci. Si richiama in particolare quanto previsto dal Regio Decreto n° 1604/31 il quale, all'art. 10, prevede che "Nelle concessioni di derivazione d'acqua debbono prescriversi le opere necessarie nell'interesse dell'industria della pesca (scale di monta, piani inclinati, graticci all'imbocco dei canali di presa, ecc.), in base agli elementi tecnici che saranno richiesti al Ministero dell'agricoltura e delle foreste".

La materia è passata successivamente alla competenza delle Regioni. A norma dell'art. 100 del decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1977, n° 616, infatti, a ciascuna Regione è delegata la disciplina relativa alla "Pesca nelle acque interne" che riguarda "la tutela e la conservazione del patrimonio ittico, gli usi civici, l'esercizio della pesca, il rilascio della licenza, la piscicoltura e il ripopolamento, lo studio e la propaganda, i consorzi per la tutela e l'incremento della pesca".

Nelle norme regionali di settore viene fatto espresso riferimento anche ai passaggi artificiali per la risalita dei pesci. La Legge della Regione Lombardia del 26 maggio 1982, n° 25, oggi abrogata, prevedeva con l'art. 21 che «...I progetti delle opere di interesse pubblico o privato che comportino l'occupazione totale o parziale del letto di fiumi o torrenti, devono prevedere la realizzazione di strutture idonee a garantire la risalita del pesce per il mantenimento dell'equilibrio biologico delle specie ittiche presenti; a tal fine la Giunta regionale emana le disposizioni procedurali e tecniche cui debbono attenersi gli interessati e le Province cui compete curarne l'osservanza...». Tale norma è stata ripresa in Lombardia dalla Legge Regionale del 30 luglio 2001 n° 12 e poi, come già ricordato, dalla L.R. n° 31/2008 che si sostituisce alla precedente.

La D.G.R. del 23 gennaio 2004 n° 7/16065 impone, per ogni nuova opera di derivazione idrica, la clausola di garantire la libera circolazione della fauna ittica, da valle verso monte e viceversa, tramite appositi dispositivi tecnici, come possono essere i passaggi per pesci; in più, prevede che «...le Province, con proprio atto possono individuare le opere esistenti che alterano l'equilibrio ecologico e pertanto necessitano interventi di adeguamento; in tali casi le stesse Province potranno richiedere all'autorità concedente l'imposizione dell'adeguamento alle esigenze di libera circolazione dell'ittiofauna, da conseguirsi preferibilmente corredando le opere stesse di rampe di

pendenze idonee. In tutti i casi in cui non risultasse tecnicamente possibile la realizzazione delle rampe, le opere andranno comunque corredate da passaggi per pesci della tipologia più opportuna (by-pass, a rallentatori piani, bacini successivi, bacini e traverse, ecc.). Andrà sempre garantito il rilascio delle portate d'acqua necessarie al corretto funzionamento dei passaggi per pesci in quanto dette portate, pur potendo essere computate quale contributo al DMV, devono essere comunque garantite anche nel caso in cui la quantità necessaria superi il valore del deflusso minimo vitale stabilito dall'Autorità competente. Il grado di funzionalità di ogni singola struttura per la risalita dell'ittiofauna deve essere valutato ed approvato, in fase progettuale, dalla provincia competente per territorio...».

7. PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO DELLA PERCORRIBILITÀ FLUVIALE

Di fatto occorre osservare che all'interno del territorio lombardo il reticolo idrografico principale di interesse ittico risulta impattato pesantemente e diffusamente dal fenomeno dell'interruzione della percorribilità fluviale a danno dei pesci. Qualora dunque un'Amministrazione locale si trovi a volere intraprendere interventi di ripristino della percorribilità lungo i tratti fluviali di propria competenza, è necessario che essa operi secondo una precisa logica di massimizzazione dei benefici per l'ambiente e per la fauna ittica, tenendo evidentemente conto delle risorse e dei mezzi disponibili per intervenire. Occorre scegliere gli ambienti dove intervenire sulla base dei punti di discontinuità considerati prioritari, la cui mitigazione consentirebbe la riapertura del più grande bacino idrografico sotteso alle specie in risalita; occorre considerare la strategicità del punto di discontinuità rispetto alle specie ittiche *target*, al loro stato di conservazione e alla loro biologia; occorre valutare la fattibilità dell'intervento di ripristino della percorribilità in termini di possibilità logistiche e disponibilità economiche ed anche di opportunità di intervento. Occorre per esempio evitare che, a causa della mancanza di un approfondimento della situazione territoriale, si intervenga prima su un tratto di corso d'acqua breve, con poche specie ittiche interessate, di cui magari nessuna particolarmente minacciata di scomparsa, quando con le stesse risorse si sarebbe potuta riaprire altrove una via fluviale di ben più elevato interesse naturalistico ed ecologico. Per la pianificazione degli interventi è necessario cioè ragionare sia sulla grande sia sulla piccola scala, realizzando un quadro di conoscenze ampio, che vada dalle caratteristiche ambientali, ecologiche e biologiche del reticolo idrografico di interesse ittico, allo studio dell'ambiente e della fauna ittica, in corrispondenza delle singole opere di interruzione, all'esame delle caratteristiche degli sbarramenti stessi.

Pianificare il ripristino della percorribilità fluviale a livello regionale deve significare la predisposizione di uno strumento strategico strutturato, ad uso delle province lombarde, che ne supporti la programmazione e la decisione in merito ad interventi di deframmentazione fluviale, secondo una logica di reticolo idrografico e attraverso un processo decisionale definito e condiviso. Un piano, se opportunamente concepito, potrebbe di fatto costituire uno strumento insostituibile in grado di offrire al tempo stesso:

- la migliore efficacia nel perseguire l'obiettivo prioritario di salvaguardia e conservazione della naturalità dei corsi d'acqua e delle popolazioni ittiche selvatiche;
- linee strategiche di intervento definite e chiare basate su principi ripercorribili e verificabili;
- opportunità di condivisione e partecipazione al percorso decisionale da parte di tutti i portatori di interesse in materia di frammentazione e deframmentazione fluviale;
- una programmazione degli interventi risultante da un processo decisionale altrettanto chiaro e trasparente in tutte le sue fasi e, per questo, anche facilmente modificabile ed aggiornabile.

Obiettivi specifici della pianificazione degli interventi di ripristino della percorribilità fluviale devono essere:

- la definizione delle linee strategiche di intervento per il ripristino della continuità fluviale nell'ambito del reticolo di competenza;
- la predisposizione di uno strumento decisionale strutturato (piano) secondo una logica di

L'interruzione della percorribilità fluviale è un problema diffuso che necessita di una pianificazione territoriale attenta, volta ad individuare e mitigare gli effetti sul patrimonio ittico, secondo una scala di priorità di intervento.

Il "Piano di ripristino della percorribilità fluviale" è lo strumento strategico strutturato di supporto alla programmazione e alla scelta degli interventi di deframmentazione fluviale, di cui devono necessariamente dotarsi tutte le Province.

Il “Piano di ripristino della percorribilità fluviale” deve essere il prodotto finale di un processo di pianificazione comprendente le seguenti fasi:



processo, in grado di garantire:

- la trasparenza dell’approccio e del metodo adottati in ciascuna sua fase;
- la partecipazione e il confronto tra tutti i portatori di interesse;
- la flessibilità in base all’aggiornamento delle informazioni, al modificarsi delle situazioni reali e all’evoluzione del percorso decisionale partecipato;
- la concretezza nell’individuazione delle priorità di intervento;
- la chiarezza e la trasparenza del programma degli interventi di volta in volta elaborato.

Per rispondere a tali requisiti è necessario che sia l’elaborazione del piano sia la pianificazione stessa vengano realizzati secondo una logica di processo. Tale processo deve prevedere quantomeno una fase preparatoria alla predisposizione del Piano, comprendente:

- la realizzazione del CENSIMENTO DELLE IMPERCORRIBILITÀ FLUVIALI, che comporti la raccolta di informazioni quanto più puntuali, capillari e precise possibile, riguardanti lo stato attuale della frammentazione fluviale all’interno del territorio di interesse, con particolare riguardo ai corsi d’acqua di interesse ittico dal punto di vista conservazionistico e/o della pesca;
- l’INDIVIDUAZIONE DELLE PRIORITÀ DI INTERVENTO, preferibilmente attraverso l’impiego di uno strumento di supporto alle decisioni che sia in grado di concentrare, organizzare e rielaborare secondo criteri precisi e trasparenti, tutte le informazioni raccolte con la prima fase di censimento;
- l’avvio di un PERCORSO PARTECIPATO di adozione di criteri di valutazione delle priorità di intervento coerenti con l’obiettivo globale e, al tempo stesso, il più possibile condivisibili tra tutti i portatori di interesse coinvolti.

Alla fase preparatoria, deve poi seguire la definizione di un PIANO di intervento a scala di reticolo idrografico provinciale. Esso deve essere snello e al tempo stesso facilmente modificabile, a seconda dell’evoluzione del percorso partecipato ed anche delle possibilità concrete di realizzazione degli interventi, soprattutto in termini di disponibilità di mezzi finanziari. Una volta redatto e adottato, il Piano può dunque essere attuato e aggiornato periodicamente. Le singole esperienze provinciali, in materia di pianificazione della deframmentazione, potrebbero auspicabilmente trovare un’occasione di sintesi, coordinamento e visibilità all’interno del progetto della Carta Ittica Regionale.

7.1 Censimento delle impercorribilità fluviali

Particolarmente decisivo all’interno della pianificazione degli interventi di ripristino della continuità fluviale (come pure in qualsiasi altro ambito di pianificazione) è il ruolo della prima fase di “censimento”. Con questo termine si intende indicare l’attività propedeutica alla pianificazione vera e propria di realizzazione del quadro conoscitivo sullo stato di fatto, tramite la raccolta di tutte le informazioni necessarie alla successiva fase di elaborazione ed impiego per l’individuazione delle scelte. Un censimento può dirsi svolto correttamente se quantomeno risponde ai seguenti requisiti:

- essere predisposto in maniera da poter essere pienamente rispondente agli obiettivi prefissati per l’attività generale in cui si inserisce;
- potersi basare su un’individuazione chiara e precisa dell’ambito di interesse della pianificazione (in questo caso, per esempio, l’ambito di interesse può anche essere volutamente più ristretto rispetto all’intero reticolo idrografico di pertinenza di un’Amministrazione, quale la Regione o una Provincia, ed essere fatto corrispondere con il reticolo dei corsi d’acqua di interesse ittico, oppure con il reticolo dei principali corsi d’acqua di interesse ittico, oppure ancora con il reticolo dei corsi d’acqua di interesse conservazionistico e le loro connessioni, e così via, a seconda degli obiettivi prioritari della pianificazione);
- basarsi sulla compilazione di un modello di scheda censuaria di raccolta dati uguale per tutti i casi e completa nell’omogeneità dell’informazione raccolta;
- basarsi sull’utilizzo di una scheda censuaria che contenga domande e opzioni di scelta delle risposte, che siano semplici nella loro formulazione e basilari per il loro contenuto conoscitivo; essa deve essere predisposta ad uso non solo di personale altamente specializzato, ma anche

di personale meno esperto, seppure adeguatamente aggiornato (come personale volontario o impiegato nella vigilanza); deve dunque offrire la possibilità di dare risposte quanto più possibile dirette, univoche e precise;

- essere esteso a tutti i corsi d'acqua rientranti nell'ambito di interesse della pianificazione, così come spiegato al secondo punto di questo elenco;
- presupporre una periodicità, ovvero deve trattarsi di un'attività svolta periodicamente al fine di consentire l'aggiornamento delle informazioni ed un approfondimento delle conoscenze, su cui poi si basa la pianificazione, anch'essa evidentemente da intendersi a sua volta come un'attività necessariamente aggiornata.

Tali requisiti costituiscono dei punti di orientamento teorico a cui si cerca di adeguare la pratica, per quanto in concreto non sia sempre possibile prevedere tutte le variabili in gioco. Di certo, l'esperienza pregressa nel campo e/o il confronto con altre esperienze similari condotte altrove concorrono a favorire il successo dell'attività, cioè la sua piena rispondenza agli obiettivi e ai risultati attesi.

Anche il censimento a sua volta è un lavoro che deve essere svolto secondo fasi successive. Un censimento deve essere organizzato nei minimi dettagli e deve esso stesso prevedere più fasi di realizzazione. La prima di esse consiste nella fase preparatoria, nel corso della quale viene predisposta la scheda censuaria. Successivamente, si suddivide il territorio in cui effettuare la distribuzione delle schede in microaree, "le sezioni censuarie", che permettono una migliore organizzazione dei rilevatori. La fase successiva è dunque quella della rilevazione. Un'ulteriore fase consiste in un primo *screening* delle schede per la verifica ed il controllo che esse siano state adeguatamente e compiutamente compilate; nel caso, occorre procedere ad un'ulteriore fase di *feedback*, in cui il singolo rilevatore, responsabile della/e rilevazioni incomplete o erronee, è chiamato a perfezionare e ultimare il lavoro compiuto. Si giunge infine alla fase di organizzazione ed archiviazione dei dati acquisiti in un database (possibilmente collegato al GIS) informatizzato, facilmente aggiornabile e consultabile anche da personale non particolarmente esperto di sistemi informatici di archiviazione.

In Appendice B si rende disponibile un esempio di scheda censuaria, già impiegato localmente in territorio lombardo in precedenti esperienze di lavoro ed intervento, che potrà essere utilizzato in futuri lavori di censimento. Si osservi che la scheda di rilevazione relativa alla singola opera di discontinuità prende in esame non solo aspetti che qualificano e descrivono l'opera, ma anche aspetti inerenti l'ecosistema fluviale e, più nel particolare, la fauna ittica. In realtà la scheda prevede la raccolta di tutti quegli elementi conoscitivi, utili ed indispensabili alla fase successiva di definizione di una scala di priorità degli interventi di ripristino della percorribilità fluviale da realizzare.

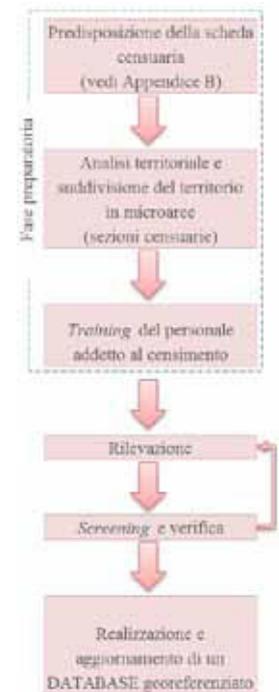
Accanto alla scheda di rilevazione occorre sottolineare l'importanza della documentazione fotografica del luogo, con speciale riguardo al contesto ambientale, ai particolari dell'opera di sbarramento e al suo inserimento nel tratto fluviale.

Il censimento deve essere un lavoro di *equipe* con competenze multidisciplinari. Esso deve essere affidato ad un gruppo di esperti nei diversi campi dell'ecologia fluviale, dell'ittologia, dell'ingegneria idraulica e ambientale, in quanto, come si vede esaminando la scheda e come è già stato accennato in precedenza, è proprio in questa fase che devono essere raccolte tutte le informazioni necessarie alla pianificazione. L'errata sottovalutazione dell'attività di campo influenzerà il successivo lavoro di valutazione.

7.2 Individuazione delle priorità di intervento

Come già ricordato in premessa al capitolo, la pianificazione di programmi di ripristino della percorribilità fluviale deve essere compiuta secondo una precisa logica di massimizzazione degli effetti positivi sulla fauna ittica e, più in generale, sull'ecosistema fluviale, in dipendenza delle risorse e dei mezzi disponibili e delle opportunità di intervento. Preso atto, infatti, che il fenomeno della frammentazione fluviale è assai diffuso su tutto il reticolo idrografico lombardo e che non sono certo disponibili sufficienti risorse per poter intervenire su tutti i punti di discontinuità, perlomeno contemporaneamente, ci si deve confrontare subito con la carenza di fondi e dunque con la necessità di dover definire un scala di priorità di intervento. È necessario operare delle scelte. Tali scelte attualmente sono compiute dalle Amministrazioni sulla base di diversi criteri: in alcuni casi la spinta

Il censimento delle impercorribilità fluviali deve essere compiuto per fasi successive:



a compiere un determinato intervento può derivare dalle pressioni fatte da pescatori oppure da ambientalisti, in altri casi si coglie l'opportunità di intervenire in occasione di lavori di restauro delle opere di sbarramento oppure di rinnovo delle concessioni di derivazione. Ciò che nella gran parte delle realtà territoriali manca e di cui anche gli stessi amministratori sentono la necessità, è tuttavia uno strumento di pianificazione degli interventi che possa realmente quantificare le necessità nei singoli casi di interruzione della percorribilità fluviale sul reticolo di interesse ittico e che offra una scala di priorità di intervento, ottenuta in base a criteri chiari e definiti, applicati egualmente a tutti i casi analizzati.

Lo scopo di questa fase di lavoro è proprio quello di fornire un tale strumento. Esempi di questo tipo ci sono forniti non solo da esperienze in ambito internazionale, come nel caso del *Fish Passage Priority Index* elaborato dal WDFW - *Washington Department of Fish and Wildlife* (2000), ma anche da esperienze in ambito lombardo, come è il caso del progetto "Piano per il ripristino della continuità ecologica dei corpi idrici delle Province di Como e di Lecco" cofinanziato con il contributo della Fondazione Cariplo e condotto in qualità di capofila dalla F.I.P.S.A.S. (Federazione Italiana Pesca Sportiva ed Attività Subacquee) che ha visto il coinvolgimento delle Province di Como e di Lecco e del Parco della Valle del Lambro in qualità di partner di progetto (2007-2009), nell'ambito del quale è stato proposto un modello matematico di supporto alla prioritizzazione (GRAIA srl, 2009).

7.2.1 Proposta di un modello matematico di supporto alle decisioni

L'idea di un indice numerico che sia in grado di esprimere in numeri la priorità di intervento in ogni singolo punto di discontinuità, in seguito alle valutazioni condotte sulla base di criteri diversi, rappresenta quanto di meglio possa essere offerto come strumento di analisi delle informazioni acquisite e, tramite il loro impiego, di supporto alle decisioni.

Di seguito si propone il modello matematico sviluppato nell'ambito del progetto poc'anzi citato. Tale strumento era, nello specifico, finalizzato alla definizione di una scala di priorità di intervento di ripristino della continuità fluviale nei territori amministrativi delle due Province di Como e Lecco. Gli esempi di tabelle ed elaborazioni riprodotti nel paragrafo successivo sono tratti da quel lavoro.

7.2.1.1 Principi di base del modello

In sintesi, il modello decisionale sviluppato si caratterizza innanzitutto per essere:

- un modello, e dunque un'astrazione e semplificazione della realtà, in grado di concentrarsi sulle componenti essenziali del sistema, che riguardano il caso di studio, e sulle loro relazioni;
- un modello di calcolo, dunque basato sull'applicazione di formule che conferiscono ad esso quelle connotazioni di automatismo e standardizzazione e dunque di ripetibilità ed equità, che ne fanno uno strumento utile alla valutazione strategica;
- un modello semplice e snello, nella struttura lineare e nella rappresentazione grafica, che lo rende facilmente interpretabile non solo nel suo risultato finale ma anche nelle sue singole componenti;
- un modello flessibile e modificabile in base all'evolversi delle linee strategiche definite, in quanto le singole variabili considerate sono dotate ciascuna di un "peso", che può essere oggetto di revisione e modifica;
- uno strumento funzionale al processo decisionale partecipato e condiviso, in quanto il peso delle singole variabili si presta a divenire oggetto di discussione ad un tavolo aperto cui siano chiamati a partecipare tutti gli stakeholder coinvolti.
- uno strumento con approccio multidisciplinare, che si esprime tramite indici aggregati, in grado di integrare i diversi obiettivi e presupposti di carattere non solo ecologico, ma anche economico e sociale;
- uno strumento concreto, basato sul concetto universale del migliore rapporto costi/benefici, che tiene di nuovo conto non solo di considerazioni esclusivamente di carattere ecologico, ma anche di aspetti inerenti la realizzabilità dell'intervento di ripristino (difficoltà tecniche e/o logistiche di realizzazione, benefici attendibili, costi, altre considerazioni inerenti la sicurezza e la pubblica utilità).

Viene proposto un modello matematico di supporto al processo decisionale di pianificazione degli interventi di ripristino della percorribilità fluviale.

Il modello, già sperimentato, è qui presentato nella sua versione aggiornata.

Il modello proposto, grazie alle caratteristiche di snellezza e semplicità cui si è fatto riferimento sopra, si presta altrettanto facilmente a future revisioni e modifiche alla luce di nuovi fattori e conoscenze eventualmente emergenti. Esso inoltre si propone, per queste stesse caratteristiche, come prodotto ampiamente ed efficacemente esportabile e trasferibile a qualsiasi realtà territoriale lombarda.

Il modello decisionale si basa sui valori di due indici di priorità, un indice ecologico ed uno cosiddetto “progettuale”. L’indice ecologico è frutto dell’aggregazione di più indicatori, ciascuno dei quali è a sua volta frutto dell’analisi di uno o più parametri aggregati. Ogni elemento di base rappresenta un punto di vista della realtà in cui vari Portatori di Interesse od interessi possono sentirsi considerati.

Gli indicatori presi in considerazione per l’indice ecologico comprendono:

- indicatori ittologici che indicano lo stato della fauna ittica nel corso d’acqua (mancata vocazionalità, migrazione, pregio faunistico);
- indicatori ambientali che valutano lo stato di qualità dell’habitat fluviale e dell’ecosistema (IFF; AA.VV., 2007) ed, in particolare, della componente macroinvertebrata (STAR-ICMI; Buffagni & Erba, 2007);
- un indicatore di carattere normativo, che definisce lo stato di protezione delle acque e dei pesci;
- un indicatore relativo alla pressione di pesca.

L’indice progettuale comprende invece una classificazione delle difficoltà realizzative relative all’intervento.

I singoli indicatori ed i relativi parametri che concorrono a definire gli indici ecologico e progettuale sono elencati nella tabella seguente.

| Indice aggregato | Indicatore | Parametro/i |
|--------------------|------------------------------|--|
| Ecologico | Mancata vocazionalità | Specie presenti |
| | | Specie potenziali |
| | Migrazione | Classificazione delle acque |
| | Pregio faunistico | Elenco di specie della Direttiva Habitat |
| | | Priorità delle specie |
| | Rilevanza ambientale | Indice di Funzionalità Fluviale |
| | Qualità biologica dell’acqua | Indice Biotico Esteso |
| | Protezione amministrativa | Zone e aree protette |
| Pressione di pesca | Fruizione delle risorse | |
| Progettuale | Difficoltà realizzative | Classificazione delle opere |

Indicatori e relativi parametri che concorrono a definire gli indici ecologico e progettuale.

Indicatore di Mancata vocazionalità (I_{mv}). Questo indicatore confronta il dato di vocazionalità ittica teorica del tratto fluviale di interesse con la composizione specifica attuale della comunità ittica presente, evidenziando lo scostamento tra specie ittiche presenti (primo parametro considerato) e specie ittiche potenziali (secondo parametro considerato). Una tale valutazione è compiuta sulla base delle conoscenze bioecologiche e biogeografiche della fauna ittica e sulla base delle informazioni tratte con il campionamento ittico diretto dei due tratti di monte e di valle dello sbarramento. Di fatto questo indicatore è valutato sia per il tratto a monte sia per il tratto a valle della discontinuità.

Il valore dell’indicatore di mancata vocazionalità, per un qualsiasi tratto, è dato dalla seguente formula:

$$(I_{mv})_{Ti} = \left(1 - \frac{N_{sr}}{N_{sp}} \right)$$

dove:

T_i = tronco fluviale i-esimo (quello a monte oppure quello a valle della discontinuità che si sta valutando);

N_{sr} = numero delle specie (tra quelle dell'elenco delle specie potenziali) rilevate nel campionamento per il tronco oggetto di valutazione;

N_{sp} = numero delle specie potenziali il cui elenco definisce la comunità ittica potenziale del tronco fluviale in oggetto.

Come si vede l'indice può variare in un *range* tra 0 e 1, entro il quale maggiore è il suo valore e maggiormente prioritario risulta l'intervento sul tratto fluviale. Per ciascun punto di discontinuità, ai fini dell'impiego dell'indicatore come elemento dell'indice aggregato ecologico, viene utilizzato il valore di I_{mv} più elevato registrato tra i due tronchi fluviali di monte e di valle della discontinuità.

Indicatore di migrazione (I_m). Con questo indicatore si attribuisce particolare interesse alle specie vagili, tra cui in particolare a quelle migratrici. Tra esse ricorrono specie di grande pregio naturalistico come lo storione cobice (*Acipenser naccarii*) o dalla biologia eccezionale come l'anguilla (*Anguilla anguilla*), che può raggiungere naturalmente i corsi d'acqua lombardi dopo avere percorso migliaia di chilometri di acque dal Mar dei Sargassi, dove gli adulti, partiti dalle coste europee, vanno a riprodursi e poi a trovare la morte e da cui le giovani anguille riprendono la strada verso le acque interne del vecchio continente.

Con questo indicatore è considerato particolarmente strategico l'intervento in tratti fluviali che consentano la riapertura di bacini sottesi comprendenti aree fondamentali per lo svolgimento dell'intero ciclo vitale delle specie migratrici e delle altre specie vagili. In questo caso viene attribuita maggiore priorità per esempio agli interventi di ripristino della percorribilità fluviale su tratti terminali di immissari lacustri e su tratti iniziali di emissari, ed è per esempio attribuita una maggiore priorità di intervento su tratti che consentirebbero il ripristino del flusso genico tra popolazioni e metapopolazioni della stessa specie.

Di nuovo viene valutato il valore dell'indicatore sia per il tratto a monte sia per quello a valle della discontinuità ed anche in questo caso, per la fase successiva di aggregazione degli indicatori, viene mantenuto il valore di priorità più elevato registrato per ciascuno sbarramento.

Un parametro utilizzabile per la valutazione di questo indicatore è la classificazione delle acque. Nella gran parte dei Piani Ittici Provinciali il reticolo idrografico di interesse ittico è suddiviso in acque di tipo "A" (come ad esempio i grandi laghi dove è consentita anche la pesca professionale), acque di tipo "B" (considerate come tali quelle a vocazionalità prevalentemente salmonicola) e acque di tipo "C" (indicate dalle disposizioni legislative come le restanti escluse dalle altre due categorie, coincidenti con i tratti più in pianura e interconnessi con grandi aste fluviali che portano al mare). In questo caso, considerando di particolare rilievo i tratti fluviali che aprono la via di spostamento ai più importanti migratori tra le specie ittiche native, la priorità più elevata ($I_m = 1$) è attribuita alle acque di tipo C, una priorità intermedia ($I_m = 0,5$) è attribuita alle acque di tipo B e con il valore di priorità più bassa ($I_m = 0$) sono classificate le acque di tipo A.

Indicatore di pregio faunistico (I_{pr}). Questo indicatore prende in considerazione il numero di specie ittiche di interesse conservazionistico presenti in ciascun tratto fluviale interessato dall'interruzione della continuità fluviale. Risulta evidentemente prioritario il tratto che ospiti il maggior numero di specie rispondenti a tale requisito.

I riferimenti che possono consentire un'oggettiva valutazione in questo senso sono due: l'elenco delle specie di interesse comunitario presente nell'allegato II della Direttiva 92/43/CEE del Consiglio dello 05/92 e successive modifiche ed integrazioni e, nel caso specifico del territorio lombardo, la Deliberazione della Giunta della Regione Lombardia del 20 aprile 2001, n° 7/4345 e successive modifiche ed integrazioni interamente dedicate al Programma di Conservazione e Gestione della Fauna Vertebrata nelle Aree Protette Lombarde, nella quale è disponibile un elenco delle specie ittiche native del nostro territorio, accompagnate ciascuna dall'attribuzione di un valore di priorità di intervento per la propria conservazione locale e generale.

Anche in questo caso l'indicatore assume valori compresi tra 0 e 1, dove il valore più alto indica la massima priorità di intervento.

L'elenco delle specie considerato in questo caso è quello delle specie rilevate con la campagna di campionamento ittico compiuta nella fase propedeutica di censimento delle discontinuità.

Anche in questo caso le informazioni devono riguardare sia il tratto di monte sia quello di valle della singola discontinuità.

Per ciascun tratto viene compilato un elenco delle specie ittiche di interesse comunitario (cioè in Allegato II della Direttiva Habitat) rinvenute nei campionamenti; a fianco di ciascuna è riportato il valore di priorità di conservazione estrapolato della D.G.R. n° 7/4345. Il valori dell'indicatore di pregio faunistico è dunque dato dalla seguente formula:

$$(I_{pf})_{T_i} = \frac{\sum_{i=0}^{N_{st}} p_i}{x}$$

dove:

T_i = tronco fluviale i-esimo

N_{st} = numero di specie oggetto di tutela da parte della Direttiva Habitat, rinvenute nella campagna di monitoraggio ittico compiuta in occasione della prima fase di censimento delle discontinuità;

p_i = valore di priorità per la specie i-esima ricavato dalle tabelle della DGR n° 7/4345;

x = fattore di normalizzazione. In questo caso la scelta del valore dipende dalla vastità dell'area di studio:

- se l'area di studio è la singola asta fluviale, x è uguale alla sommatoria del valore di priorità di tutte le specie ittiche di interesse comunitario campionate in tale asta fluviale;
- se l'area di studio comprende più aste fluviali (come ad esempio l'intero reticolo idrografico di interesse ittico), x è uguale alla sommatoria dei valori di priorità di tutte le specie campionate nell'intero reticolo e appartenenti alla lista delle specie di interesse comunitario.

Indicatore di rilevanza ambientale (I_{IFF}). Con il seguente indicatore si vuole valutare la rilevanza ambientale dei vari tronchi oggetto d'indagine. La sigla stessa con cui si identifica l'indicatore evidenzia che il parametro selezionato per esprimere la rilevanza ambientale è l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF), oggi anche riconosciuto dall'ANPA (Siligardi & Maiolini, 1993; AA.VV., 2007). Senza addentrarsi nelle specifiche dell'indice, per l'approfondimento e la comprensione delle quali si rimanda al relativo manuale ANPA, preme esclusivamente ricordare che nell'applicazione dell'indice si giunge ad una valutazione morfoedafica delle due sponde fluviali considerate separatamente. Pur consapevoli dell'importanza di una tale distinzione dal punto di vista ecologico e gestionale, nel caso presente, per gli scopi dell'indice aggregato di priorità che dovrà essere implementato, si ritiene che la semplice media aritmetica tra i punteggi ottenuti per le due sponde nel medesimo tratto possa costituire un buon parametro per l'indicatore di rilevanza ambientale. Sempre ai fini dell'impiego dell'indicatore nell'implementazione dell'indice aggregato ecologico, inoltre, il valore di funzionalità fluviale così trovato è normalizzato secondo una scala di valori tra 0 e 1, attraverso la seguente tabella di conversione, in cui a ciascuna delle nove classi previste dall'IFF vengono attribuiti valori compresi tra 0 e 1.

| LIVELLO | PUNTEGGI | CLASSE | IFF |
|---------|----------|--------|------|
| I | 261-300 | 9 | 1 |
| I-II | 251-260 | 8 | 0,89 |
| II | 201-250 | 7 | 0,78 |
| II-III | 181-200 | 6 | 0,67 |
| III | 121-180 | 5 | 0,56 |
| III-IV | 101-120 | 4 | 0,45 |
| IV | 61-100 | 3 | 0,34 |
| IV-V | 51-60 | 2 | 0,23 |
| V | 14-50 | 1 | 0,12 |

Tabella di assegnazione numerica per I_{IFF}

In questo caso, inoltre, al fine di estrarre un unico dato di rilevanza ambientale per ciascun punto di interruzione della continuità fluviale, è calcolata la media aritmetica dei due valori di IFF registrati per i tratti a monte e a valle dello sbarramento.

Indicatore di qualità biologica dell'acqua (I_{IB}). Anche in questo caso, come nel precedente, il modello può avvalersi di metodologie di indagine e valutazione ecologica già esistenti. Il macrobenthos in particolare costituisce un ottimo bioindicatore. In questo caso, come nel precedente, è attribuita una maggiore priorità a quegli ambienti che si distinguono per una migliore qualità dell'acqua e dunque per condizioni più prossime alla naturalità. Di nuovo si prevede la raccolta per ciascun punto di discontinuità di due dati di qualità, uno relativo al tratto a monte e l'altro relativo a quello a valle dello sbarramento; anche in questo caso per i due dati viene calcolata la media aritmetica.

Le metodiche di valutazione del macrobenthos, cui si suggerisce di fare ricorso, sono le più recenti metodologie di indagine e di analisi elaborate dall'IRSA (Buffagni & Erba, 2007) ai fini dell'implementazione della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE, le quali prevedono l'impiego di metodologie differenti di indagine per i fiumi guadabili e per quelli non guadabili e l'applicazione dell'indice STAR-ICMI. Tale indice conduce ad una classificazione della qualità ecologica del tratto fluviale sulla base del macrobenthos presente, secondo una scala di valori compresi tra 0 e 1, dove 1 rappresenta la condizione di assoluta integrità, dunque rispondenti in tutto alle esigenze del modello decisionale.

Indicatore di protezione amministrativa (I_{pa}). Questo indicatore valuta il livello di protezione amministrativa cui è sottoposta l'area interessata dallo sbarramento fluviale. In particolare, ci si riferisce alla presenza di Aree Protette, come Parchi Nazionali o Regionali, Z.P.S., Z.S.C. o altro ancora. L'indicatore è studiato in modo da attribuire una priorità più elevata di intervento ai siti inclusi all'interno di aree protette considerate di maggiore pregio, secondo la scala decrescente di pregio delle seguenti aree protette, per ognuna delle quali è anche proposto un valore di I_{pa} . Anche in questo caso il range di valori può andare da 1 (cui corrisponde il livello massimo di protezione) a 0, cui corrisponde lo stato di alcuna protezione amministrativa del sito. La tabella definisce un possibile elenco di aree protette diffuse nel nostro territorio, cui viene fatto corrispondere un valore di I_{pa} .

Aree Protette e corrispondente valore dell'indice di protezione amministrativa.

| Livello di Protezione Amministrativa | I_{pa} |
|--|----------|
| Parchi Nazionali (Legge 394/91) | 0,9 |
| Parchi Regionali (ad esempio L.R. 86/83, art 1, lett. b) | 0,8 |
| Riserve Naturali (L.R. 86/83, art. 1, lett.c) | 0,7 |
| Zone di Tutela Ittica (ad esempio quelle previste dalla L.R. 12/01, art. 9, c. 3) | 0,6 |
| Zone di Protezione e Ripopolamento Ittico (L.R. 12/01, art. 9, c. 2) | 0,5 |
| Zone di Protezione Speciale e Zone Speciali di Conservazione (ai sensi della Direttiva 92/42/CEE e relativi recepimenti a livello sia nazionale sia regionale) | 0,4 |
| Monumenti Naturali (L.R.86/83, art.1, lett. e) e Zone di Pesca No-Kill (eventualmente individuate dai Piani Ittici provinciali) | 0,3 |
| Aree di Rilevanza Ambientale (L.R. 86/83, art. 1, lett. d) | 0,2 |
| Parchi Locali di Interesse Sovracomunale (L.R. 86/83, art. 34) | 0,1 |
| Nessuna protezione | 0 |

Nei casi in cui più gradi di protezione interessino la stessa area oggetto di valutazione, il valore da assegnare è quello relativo al livello di protezione maggiore, cui viene sommato un valore correttivo di I_{pa} pari a 0,0125 per ogni ulteriore area protetta di grado inferiore che insista sulla medesima area fino ad un valore massimo totale pari ad 1.

Indicatore di pressione di pesca (I_{pp}). Con questo indicatore si intende dare una priorità più elevata ai tratti fluviali soggetti a forte pressione di pesca, rispetto a quelli non interessati da quest'attività. È infatti evidente che, laddove insista un pesante sfruttamento della risorsa ittica, responsabile anch'esso, in concorrenza con i fattori ambientali, di stress e depauperamento delle popolazioni

ittiche, sia ancor più necessario un intervento di riconnessione del tratto fluviale eventualmente isolato con i tratti contigui, al fine di favorire reclutamento spontaneo e flusso genico. Ai fini dell'ordinamento dei tratti fluviali in studio, secondo una scala di priorità basata su questo indicatore, appare particolarmente utile la disponibilità di parametri quale il pescato per unità di spazio, che potrà essere facilmente normalizzato rispetto alla determinata scala di valori prevista tra 0 e 1, ove 1 corrisponde alla condizione maggiormente sfruttata.

Indicatore di difficoltà realizzative (I_{dr}). A fianco delle caratteristiche ecologiche dei tratti fluviali di interesse, che consentono di valutare l'opportunità e la necessità di un intervento più o meno prioritario in favore del ripristino della naturalità, occorre analizzare anche gli aspetti progettuali legati alle difficoltà della realizzazione dell'intervento. Risulta in effetti più facilmente fattibile un intervento logisticamente meno complesso, che per esempio non richieda modifiche dell'opera di sbarramento esistente e che possa sfruttare la disponibilità di spazio a lato dell'alveo fluviale, piuttosto che un intervento che preveda pesanti modifiche sull'opera esistente e una difficile accessibilità alle aree di lavoro. Da quanto detto, risulta evidente che un simile indicatore debba necessariamente assumere un ruolo determinante nel processo decisionale di prioritizzazione degli interventi. Sulla base di un'esperienza ormai più che decennale di lavoro e di progettazione di interventi di ripristino della percorribilità fluviale, siamo in grado di ricondurre le diverse casistiche di intervento a quattro grandi categorie, a ciascuna delle quali può essere associato un giudizio ed un relativo valore dell'Indicatore di difficoltà realizzativa, sempre compreso in una scala tra 0 e 1. Maggiore è la difficoltà realizzativa, minore è il valore dell'indicatore, per cui opere più facilmente realizzabili, cioè con valori di I_{dr} più prossimi a 1 risultano prioritarie, rispetto ad opere più difficoltose con I_{dr} più vicini a 0.

| DESCRIZIONE | DIFFICOLTÀ REALIZZATIVE | I_{dr} |
|--|-------------------------|----------|
| Facile inserimento nel manufatto senza particolari interventi di modifica sull'opera (ad esempio rampa in pietrame realizzata esclusivamente con l'introduzione di massi in alveo che non interessino modifiche dell'opera vedi) | bassa | 1 |
| Possibilità di inserimento a lato del manufatto senza modifiche significative dell'opera (ad esempio corsi d'acqua diversivi, passaggi a bacini successivi o di tipo Denil non realizzati direttamente in alveo) | media | 0,75 |
| Necessità di intervento sul manufatto nonché realizzazioni direttamente in alveo o sull'intera struttura (ad esempio rampe in pietrame in sostituzione di briglie di contenimento, passaggi a bacini successivi e ascensori realizzati direttamente in alveo) | alta | 0,50 |
| Integrazione in contesti particolarmente complessi, nei quali si interferisce direttamente con la funzionalità dell'opera esistente o di difficile accesso nonché in condizioni di particolare instabilità (ad esempio chiuse per pesci o grandi dighe, sbarramenti idraulici) | elevata | 0,25 |

Indicatore di difficoltà realizzative secondo quattro categorie.

Indici aggregati. Al fine di giungere ad un unico valore di priorità per singolo intervento, uno in riferimento agli aspetti ecologici ed un altro in riferimento a quelli progettuali, i valori degli indicatori definiti devono essere aggregati tra loro. Tuttavia questa operazione ha un rischio: l'ulteriore sintesi dei risultati ottenuti potrebbe causare una perdita di informazione o portare a sottovalutare certi aspetti, che sono invece nella realtà dei fatti più rilevanti di altri. Inoltre, nel processo decisionale devono essere valutati ancora altri elementi per poter valutare la priorità di un intervento su di un altro. Per esempio, tra gli indicatori elencati e descritti, non compare la lunghezza del tratto fluviale eventualmente riaperto alla libera percorribilità da parte dei pesci, così come non sono stati ancora contemplati i costi di realizzazione previsti per gli interventi. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, sono state da tempo elaborate formule che consentono di stimare l'ordine di grandezza dei costi di un intervento in dipendenza da parametri fisici relativi all'opera in progetto. Per esempio Larinier *et. al.* (2002) hanno proposto una formula che calcola i costi come prodotto dell'altezza del

salto determinato dallo sbarramento (h , misurato in metri), per la portata in transito nel passaggio (in m^3/s), per un fattore moltiplicativo fisso (il coefficiente k , il cui valore medio stimato sulla base delle esperienze direttamente acquisite dagli autori è pari a 108.000 €/m di salto per i passaggi a bacini successivi e di 84'000 €/m di salto per le rampe artificiali o i canali diversivi), la formula assume dunque la seguente forma:

$$C = h * k * Q$$

Considerando infatti un salto dei peli liberi di monte e valle pari a 5 m ed una portata fluente nel passaggio artificiale per pesci di 0,5 m^3/s , l'impegno economico stimabile per la realizzazione di un passaggio artificiale per pesci a bacini successivi, che mitighi la discontinuità diviene di 270'000 Euro, da intendersi IVA compresa. Parimenti un salto di 2,5 m, da mitigare grazie alla realizzazione di un corso d'acqua diversivo o di una rampa artificiale per una portata di 1 m^3/s , contabilizza in stima un importo di 210'000 Euro IVA compresa. La veridicità di una tale relazione indica che più il salto è alto più i costi saranno elevati e dunque maggiori saranno anche le difficoltà economiche di reperire i fondi adeguati per la realizzazione dell'intervento. Il parametro h (altezza del salto) può dunque essere inserito in una nuova relazione di calcolo dell'indice aggregato di valutazione progettuale (**IP**), al fine che esso possa tenere nel giusto conto sia le difficoltà tecniche sia quelle finanziarie connesse con la realizzazione dell'opera di ripristino della percorribilità fluviale.

Tale relazione è la seguente:

Formula di calcolo dell'indice progettuale IP

$$IP = 1/h * I_{dr}$$

Con tale relazione si attribuisce un peso determinante al parametro di altezza del salto, e dunque ai costi dell'opera, per cui accade che un'opera, estremamente difficoltosa nella realizzazione dal punto di vista tecnico, ma poco onerosa dal punto di vista economico, diviene prioritaria rispetto ad un'opera estremamente facile dal punto di vista tecnico ma molto più costosa, anche se è assai improbabile che si verifichi il caso di un'opera estremamente facile da realizzare dal punto di vista tecnico e logistico che sia anche poco dispendiosa. Passando poi all'indice aggregato di valutazione ecologica (**IE**) e a quanto osservato poco sopra riguardo alla lunghezza dei tratti eventualmente riaperti alla libera migrazione, occorre che tale indice sia formulato in modo da conferire un peso determinante a questo parametro, per l'evidente significato ecologico che esso racchiude. È infatti fuor di dubbio che debba essere in assoluto considerato prioritario l'intervento su un'opera di sbarramento, la cui mitigazione riaprirebbe una via di spostamento e migrazione dei pesci più lunga rispetto ad una che separa tratti brevi. Tuttavia la priorità deve anche essere subordinata al valore ecologico estrapolato dall'analisi degli indicatori ecologici individuati.

Di qui la seguente formula di calcolo dell'IE:

Formula di calcolo dell'indice ecologico IE

$$IE = I * \Sigma (I_{mv} + I_m + I_{pr} + I_{IFF} + I_b + I_{pa} + I_{pp})$$

dove i valori della sommatoria sono dipendenti dai valori degli indicatori precedentemente descritti e le lunghezze dei tronchi fluviali "l" sono concepite come la somma dei tratti liberamente percorribili a monte e a valle dello sbarramento.

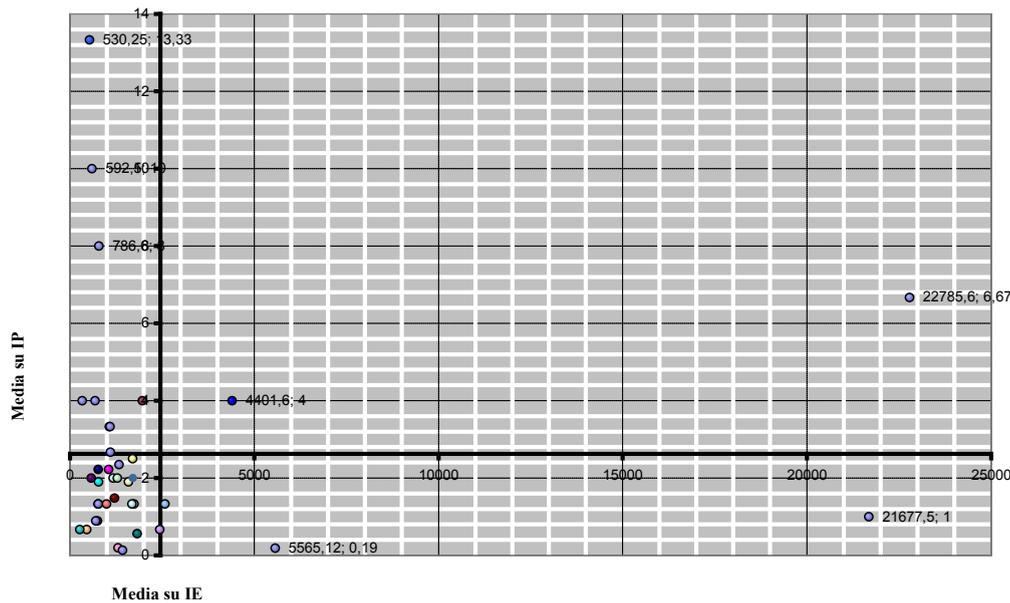
7.2.1.2 Applicazione del modello

L'implementazione del modello è la fase applicativa in cui sono ricavati i valori dei due indici aggregati di priorità:

- un valore che esprime l'indice sintetico di valutazione della rilevanza ecologica, ovvero l'importanza del singolo intervento ai fini del riequilibrio ecosistemico e della comunità ittica;
- un valore che esprime l'indice sintetico di valutazione della rilevanza progettuale, cioè la fattibilità tecnica, logistica, economica dell'intervento di deframmentazione.

A ciascun punto di discontinuità sono attribuiti i due valori e dunque, per ciascuno dei due indici, si ricava una scala di priorità di intervento. Gli interventi prioritari dal punto di vista ecologico e/o da quello progettuale sono ora meglio individuabili con il supporto della rappresentazione grafica su un piano cartesiano, in cui le ascisse sono i valori di IE e le ordinate sono i valori di IP. Il grafico decisionale risultante è diviso in quattro quadranti dai valori della media per i rispettivi indici. Nel quadrante in alto a destra abbiamo alta valenza ecologica e bassi investimenti di carattere progettuale

ed economico. Complementare risulta il quadrante in basso a sinistra (minore valenza ecologica a fronte di un discreto investimento di risorse). I restanti due quadranti individuano soluzioni opposte tra loro: il quadrante in basso a sinistra caratterizza interventi ad alta valenza ecologica, ma dispendiosi dal punto di vista delle tecniche e delle risorse finanziarie da mettere in campo; quello in alto a destra interventi facilmente realizzabili e poco costosi, ma di minore valenza ecologica.



Esempio di grafico decisionale.

Esaminando il grafico riportato in esempio è infatti intuitivamente osservabile:

- che per una medesima discontinuità l'intervento di deframmentazione sia valutato di scarso valore ecologico e che per esso sia previsto un elevato impegno tecnico ed economico. È evidente che, in questo caso, l'interpretazione dell'intervento sia alquanto inequivocabile a sfavore della sua realizzazione;
- che per una medesima discontinuità l'intervento riveli sia un elevato valore di priorità progettuale sia un elevato valore di priorità ecologica. Anche in questo caso, la concordanza dei due indici non può che far concludere che si tratti di un intervento estremamente conveniente, da realizzarsi prioritariamente;
- che per una stessa opera di discontinuità i due valori di priorità ecologica e progettuale divergano. Potrebbe per esempio presentarsi il caso di un intervento assai rilevante dal punto di vista ecologico, ma di fatto molto difficile e dispendioso da realizzare concretamente o viceversa un intervento di semplice concretizzazione ma di scarsa valenza ecologica ed ambientale.

Mentre nei primi due casi il modello è un supporto direttamente utile a declassare interventi inutilmente dispendiosi o esaltare interventi estremamente utili ai fini ecologici e pure poco costosi, nel terzo caso la funzione del modello è piuttosto quella di offrire un quadro quanto più sintetico possibile sull'utilità ecologica e sulla difficoltà degli interventi, lasciando però poi all'arbitrio del decisore la scelta delle priorità. Dovranno infatti trovare un posto nella classifica di priorità anche quegli interventi moderatamente utili ecologicamente e poco dispendiosi, piuttosto che gli interventi assai positivamente significativi per l'ecosistema fluviale, ma altrettanto grandemente difficoltosi e costosi. A questo punto, per la classificazione degli interventi secondo un ordine di priorità di esecuzione, occorre appellarsi ad un ulteriore passaggio nell'applicazione del modello decisionale, quello cioè della selezione e dell'ordinamento secondo linee strategiche di piano definite preventivamente. Questo aspetto viene discusso nel paragrafo successivo. La scelta finale delle prime linee di azione non deve tuttavia interrompere il processo reiterativo del modello decisionale. Infatti l'informazione più significativa data dal grafico decisionale è rappresentata dalle valenze macroscopiche. Non va infatti commesso l'errore di ordinare pedissequamente le priorità secondo il primo ordine generato dal modello. Infatti, la risoluzione di alcune discontinuità potrebbe portare

Il modello decisionale è uno strumento di supporto alle decisioni i cui risultati devono essere ulteriormente valutati e, nel caso, riveduti e aggiustati, considerando ulteriori fattori.

ad una mutazione dei corsi e delle priorità stesse. Va da sé che la realizzazione di un passaggio artificiale per pesci su di una discontinuità, che liberi un significativo tratto di asta fluviale, sposterà il peso delle priorità sulle adiacenti criticità qualora le stesse concorrano, ad esempio ad ampliare significativamente il corridoio ecologico percorribile. La miglior strategia applicativa risulta quindi quella di determinare le priorità macroscopiche determinate nei quadranti del grafico, considerare le stesse risolte, aggiornare il modello ed applicarlo per individuare le successive nuove priorità. In questo modo, lo strumento è uno strumento dinamico che ben si adatta all'evoluzione dei corsi e permette un concreto aggiornamento nell'ottica di una sempre più attenta ed efficace applicazione di metodo.

7.2.1.3 Utilizzo delle indicazioni tecniche offerte dal modello ai fini della pianificazione

Una volta applicato il modello decisionale e ottenuta una scala di priorità di intervento, occorre comunque valutare attentamente le priorità selezionate. È necessario valutare, secondo criteri definiti, la validità effettiva e la concretezza di una simile graduatoria; deve inoltre essere vagliata la possibilità che essa debba essere rivista e riconsiderata alla luce di altri fattori, che non possono rientrare nel modello decisionale, ma che devono essere tenuti obbligatoriamente in conto in sede di programmazione degli interventi.

Occorre cioè stabilire anche “le linee strategiche del Piano” che devono essere comunque considerate e seguite, a valle dell'implementazione del modello decisionale.

Le linee strategiche proponibili possono essere le seguenti:

1. sono da considerarsi prioritarie le opere di discontinuità i cui valori di IE e/o di IP si rivelano più elevati rispetto alla media geometrica (50° percentile) dei valori complessivamente calcolati per tutte le discontinuità esaminate dal modello decisionale;
2. si stabilisce come prioritaria la rilevanza ecologica delle discontinuità rispetto alla rilevanza progettuale, in un'ottica conservazionistica nei confronti della fauna ittica nativa e degli ecosistemi fluviali. In tale ottica, si definisce prioritario un intervento costoso ma molto rilevante dal punto di vista ecologico, piuttosto che un intervento molto economico ma modestamente rilevante dal punto di vista ecologico;
3. secondo l'approccio conservazionistico definito al punto 2, in considerazione delle peculiarità del territorio di interesse per il Piano, si attribuisce particolare rilevanza ecologica alle discontinuità che interferiscono con gli spostamenti stagionali delle specie ittiche lacustri dal lago nei corsi d'acqua immissari, nel rispetto dei loro *home range* naturali. A parità di Indice Ecologico calcolato dal modello, si attribuisce maggiore rilevanza alle discontinuità poste in foce degli immissari dei grandi laghi prealpini presenti;
4. fatti salvi i punti 1, 2 e 3, si considera prioritario un intervento di deframmentazione sul corso d'acqua di ordine fluviale superiore rispetto a quelli di ordine inferiore;
5. fatti salvi i punti 1, 2, 3 e 4, si considera prioritario l'intervento sul corso d'acqua che libera a monte il tratto fluviale più lungo;
6. fatti salvi i punti 1, 2, 3, 4 e 5, si ammette l'eventualità che l'Ufficio preposto all'attuazione del Piano non rispetti l'ordine di intervento stabilito dal Piano stesso e si prenda carico di realizzare un intervento tra quelli prioritari, con precedenza rispetto ad un altro ritenuto maggiormente prioritario rispetto ad esso, qualora, per motivi contingenti, se ne presenti l'occasione e l'opportunità nell'ambito di altre iniziative, progetti, programmazioni, piani.
7. fatti salvi i punti 1, 2, 3, 4, 5 e 6, si ammette l'eventualità che l'Ufficio preposto all'attuazione del Piano si prenda carico di realizzare un intervento di deframmentazione non ritenuto prioritario, qualora se ne presenti l'occasione e l'opportunità nell'ambito di altre iniziative, progetti, programmazioni, piani.
8. in considerazione della multidisciplinarietà della materia, l'Ufficio preposto all'attuazione del Piano si impegna ad individuare un gruppo di lavoro tecnico-scientifico opportunamente preparato e referenziato e vario, nel quale compaiano quantomeno le figure dell'ingegnere ambientale, dell'ittologo, dell'idrobiologo, del geologo, dell'agronomo forestale e del naturalista, per la progettazione degli interventi di deframmentazione fluviale.

Occorre stabilire le “linee strategiche del Piano di ripristino della percorribilità fluviale”, sempre valide, indipendentemente dai risultati dell'applicazione del modello decisionale.

Sono qui proposte possibili linee strategiche.

SVILUPPO E APPLICAZIONE DI UN MODELLO DECISIONALE DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DELLA DEFRAMMENTAZIONE FLUVIALE SU SCALA PROVINCIALE

Titolo del lavoro: Piano per il ripristino della continuità ecologica dei corpi idrici delle Province di Como e di Lecco

Committente: Federazione Italiana Pesca Sportiva e Attività Subacquee (FIPSAS)

Altri Enti coinvolti: Fondazione Cariplo (finanziatore), Provincia di Como, Provincia di Lecco, Parco della Valle del Lambro

Consulenza tecnica / progettazione: GRAIA srl / Blu Progetti srl

Anni di realizzazione: 2007 - 2009

Il progetto di deframmentazione del reticolo idrografico delle due Province di Como e Lecco, finanziato da Fondazione Cariplo, aveva come obiettivi specifici:

- la definizione delle linee strategiche di intervento per il ripristino della continuità fluviale, individuando una scala di priorità degli interventi da realizzare;

- la predisposizione di un "modello decisionale", strutturato in modo tale da garantire totale trasparenza, partecipazione e confronto tra tutti i portatori di interesse e flessibilità in base all'aggiornamento delle informazioni, al modificarsi delle situazioni e all'evoluzione del percorso decisionale.

Il progetto si è articolato in 5 fasi:

Fase 1 - Azioni di studio preliminare e di caratterizzazione degli ambienti e delle criticità, realizzato mediante una campagna di censimento, raccolta dati ed analisi dello stato attuale della frammentazione fluviale all'interno del reticolo idrografico delle due province, con particolare riguardo ai corsi d'acqua di interesse ittico, dal punto di vista sia conservazionistico sia alieutico. Queste attività hanno permesso di realizzare un modello decisionale per l'individuazione delle priorità di intervento e la conseguente stesura di un Piano di intervento per il ripristino della continuità ecologica dei reticoli idrici provinciali, facilmente applicabile e modificabile a seconda dell'evoluzione del percorso partecipato e delle possibilità concrete di realizzazione.

Fasi 2 e 3 - Azioni di sperimentazione dei risultati ottenuti nella fase precedente. In questa fase è stato eseguito un intervento pilota di deframmentazione del Fiume Lambro, a monte e a valle del Lago di Pusiano; è stato sviluppato ed implementato un modello decisionale per la regolazione dei livelli del Lago di Pusiano e sono stati realizzati interventi di riqualificazione e di diversificazione di alcuni tratti di Fiume Lambro.

Fase 4 - Azioni di monitoraggio per la verifica dell'efficacia degli interventi compiuti.



Fase 5 - Azioni di divulgazione e sensibilizzazione.

AREA DI PROGETTO

L'area di progetto consiste nel reticolo idrografico delle province di Como e Lecco.

OBIETTIVI

L'obiettivo primario del progetto era una pianificazione su scala provinciale degli interventi di deframmentazione fluviale, in favore della vagilità naturale della fauna ittica selvatica.

RISULTATI

per arrivare alla pianificazione degli interventi di deframmentazione fluviale su scala provinciale, il progetto è stato realizzato seguendo, nel concreto, il percorso logico indicato in queste pagine, prevedendo:

- una prima attività propedeutica di censimento delle discontinuità presenti sui corsi d'acqua provinciali, per ognuna delle quali è stata compilata una scheda descrittiva;

- un secondo step di studio e approfondimento sperimentale degli effetti delle discontinuità censite sull'ecosistema acquatico e le sue componenti;

- un'ulteriore raccolta, organizzazione e completamento delle informazioni territoriali legate ai tratti omogenei dei corsi d'acqua;

fino ad arrivare allo sviluppo e implementazione di un modello decisionale partecipato per l'analisi e l'individuazione delle priorità di intervento, e dunque alla stesura del Piano per il Ripristino della Continuità Biologica per le due Province di Como e Lecco.

Censimento delle discontinuità. Il primo passo per la predisposizione del piano di ripristino della continuità fluviale è consistito in un accurato censimento che ha individuato i punti di discontinuità presenti nei principali corsi d'acqua, con

particolare attenzione ai fiumi che terminano direttamente in lago. Il tratto terminale di questi rappresenta, infatti, una zona di particolare importanza per la riproduzione di numerose specie ittiche lacustri e preservarne l'integrità significa garantire il loro successo riproduttivo. Questa azione non solo ha offerto una base conoscitiva essenziale per l'elaborazione del Piano di deframmentazione, ma ne costituisce anche un elemento aggiornabile periodicamente e dunque in grado di assicurarne la costante attualità, in linea con l'evolversi degli eventi e delle trasformazioni del territorio.

Per la Provincia di Como sono stati indagati complessivamente 20 corsi d'acqua di interesse per la fauna ittica e sono state censite 128 punti di discontinuità fluviale. In Provincia di Lecco sono stati indagati 7 corsi d'acqua lungo i quali sono state censite 19 discontinuità.

Tutti i dati raccolti con il censimento sono stati informatizzati e, soprattutto grazie alla rappresentazione cartografica e all'utilizzo di opportuni software di elaborazione GIS, sono state rilevate e registrate informazioni aggiuntive preziose per le successive fasi di trattamento dei dati, quali: le lunghezze dei corsi d'acqua, la posizione e l'altezza delle discontinuità, le distanze tra discontinuità consecutive, ecc....

Una particolare attenzione è stata posta ai corsi d'acqua che sfociano direttamente in lago. Il tratto terminale di questi fiumi infatti rappresenta una zona di particolare importanza per la riproduzione di numerose specie ittiche lacustri. Per tale ragione, preservarne l'integrità significa garantire il successo riproduttivo di queste specie.

La mappa raffigurata in questa pagina mostra la distribuzione delle discontinuità artificiali complessivamente riscontrate nell'area di studio (simboli rossi). Tra tutte le discontinuità riscontrate, sono state poi selezionate le più significative e per esse è stato svolto un approfondimento conoscitivo finalizzato a raccogliere tutte le informazioni territoriali funzionali



all'implementazione del modello matematico di supporto alle decisioni. Una volta costituita una base conoscitiva esaustiva, tali informazioni sono state inserite nel modello che sviluppato per la prima volta nell'ambito di questo progetto, è stato proposto, discusso, modificato e condiviso da parte di tutti i soggetti coinvolti.

Per ogni discontinuità censita il modello valutava i seguenti indicatori:

| INDICATORE | DESCRIZIONE |
|--------------------------------------|---|
| Mancata vocazionalità | <i>valuta la mancata vocazionalità delle acque oggetto di indagine in funzione del grado di compromissione delle condizioni di naturalità dovuto alla discontinuità. Risultano prioritari i tratti con il maggior deficit vocazionale.</i> |
| Migrazione | <i>pone l'attenzione sulla presenza di specie ittiche che necessitano di spostamenti longitudinali più o meno estesi. Risultano prioritari i tratti ecologicamente compatibili con le specie migratrici.</i> |
| Rilevanza ambientale | <i>valuta la valenza ambientale dei vari tronchi oggetto d'indagine, attraverso l'applicazione dell'IFF. Risultano prioritari i tratti con le condizioni qualitativamente migliori.</i> |
| Qualità biologica | <i>si basa sull'analisi qualitativa della comunità macrobentonica per descrivere l'entità del degrado ambientale (indice IBE). Risultano prioritari i tratti con il contesto qualitativo migliore.</i> |
| Livelli di protezione amministrativa | <i>valuta il livello di protezione amministrativa presente sul territorio a ridosso della discontinuità fluviale.</i> |
| Pressione di pesca | <i>considera la pressione piscatoria come elemento di disturbo alla normale evoluzione delle popolazioni ittiche: un tratto di fiume soggetto a forti prelievi dovuti all'attività alleutica, necessita maggiormente di un collegamento con aree limitrofe che possono fungere da polmone naturale.</i> |
| Difficoltà realizzative | <i>valuta i parametri puramente progettuali, quantificando le difficoltà realizzative dell'opera di deframmentazione.</i> |

I risultati delle valutazioni dei singoli parametri sono stati accorpati in due indici sintetici:

1. un indice sintetico di valutazione della rilevanza progettuale, cioè della fattibilità tecnica, logistica, economica dell'intervento di deframmentazione;
2. un indice sintetico di valutazione della rilevanza ecologica, cioè dell'importanza del singolo intervento ai fini del riequilibrio della comunità ittica e dell'ecosistema nel suo complesso.

E' stato così possibile ordinare le discontinuità secondo un ordine di priorità decrescente di intervento in base ai valori dei due indici sintetici. Alla luce della valutazione di rilevanza progettuale ed ecologica, sono risultate prioritarie 7 discontinuità.

Infine, avendo definito alcune semplici linee strategiche di intervento, suscettibili anch'esse di revisione futura, soprattutto alla luce dell'evoluzione di un processo partecipato di condivisione del piano e dei suoi strumenti di supporto (in particolare del modello), è stato sviluppato il primo Piano Provinciale di deframmentazione fluviale che attualmente è già parte integrante del Piano Ittico della Provincia di Como attualmente in vigore.

7.3 Progettazione e realizzazione di passaggi artificiali per pesci – linee guida

La progettazione e realizzazione di passaggi artificiali per pesci deve essere considerata materia complessa e articolata, appannaggio non semplicemente di una sola figura professionale, quale può essere un ingegnere (ambientale o idraulico) progettista, ma piuttosto di un *team* di lavoro composto da più figure professionali, rappresentate, oltre che da un ingegnere, quantomeno da un biologo esperto di ecologia dei corpi idrici e di ittiologia; a questi potranno affiancarsi, a seconda delle necessità, in funzione del tipo di opera e della sua collocazione e inserimento ambientale, da un geologo, un agronomo forestale e da un architetto. Vista la natura delle opere in questione e la molteplicità di soluzioni realizzative che possono essere adottate per costruire passaggi efficaci ed anche, eventualmente, multifunzionali e ben inseriti nell'ambiente, sono numerosi gli aspetti ambientali coinvolti e di interesse, riguardanti non solo i pesci e la loro ecologia, biologia e fisiologia, ma anche l'habitat fisico e strutturale, del quale devono essere approfonditi gli aspetti idrogeologici ed idraulici, ed ancora l'ecosistema nel suo complesso ed il paesaggio. In realtà, oltre a richiedere competenze nelle più diverse materie della gestione e progettazione ecologica e faunistica, la progettazione di passaggi per pesci richiede soprattutto una grande esperienza da parte di tutti i componenti del *team* di lavoro. Non basta, infatti, prendere un qualsiasi manuale di progettazione di passaggi per pesci, di cui è ricca la letteratura di settore, e servirsene per la progettazione di un passaggio; ciò che occorre è anche la capacità e l'esperienza di saper valutare le singole situazioni sito-specifiche sempre diverse e sapervi adattare il progetto, in modo da poter garantire la reale funzionalità ed efficacia della struttura realizzata. Con le presenti linee guida, ci si propone di fornire uno strumento di supporto alla progettazione piuttosto concentrato sulle indicazioni tecniche e pratiche, insieme a quelle teoriche, utili alla progettazione.

La progettazione di un passaggio artificiale per pesci deve essere eseguita secondo un percorso logico-analitico, che consenta di individuare la migliore soluzione sito-specifica in risposta ad esigenze, condizioni, vincoli locali. Quest'attività deve dunque essere vista come un processo a tappe successive, ognuna delle quali è propedeutica alla seguente; in questo modo sarà possibile non tralasciare alcun particolare e progettare un'opera efficiente ed efficace a lungo termine.

Le fasi della progettazione sono sostanzialmente le seguenti:

1. acquisizione delle informazioni esistenti;
2. inquadramento idrologico e idraulico;
3. inquadramento ecologico e faunistico;
4. individuazione e sviluppo della soluzione di progetto;
5. pianificazione della fase realizzativa e predisposizione della documentazione necessaria.

Le prime tre fasi possono essere riunite sotto un'unica voce di "inquadramento ambientale". Nel caso in cui la progettazione di un intervento avvenga all'interno di un'attività più vasta di pianificazione del ripristino della percorribilità fluviale a livello di bacino idrografico o di territorio amministrativo, oppure possa comunque avvalersi di un Piano di deframmentazione preesistente, esse saranno facilitate o addirittura superate. In tutti gli altri casi, tali fasi richiederanno invece un'attenzione particolare per la loro connotazione fortemente propedeutica. Ricostruendo, infatti, un quadro ambientale lacunoso o impreciso si rischia di progettare un'opera non funzionante o parzialmente funzionante, perché non sempre attiva o attiva a breve termine oppure perché selettiva, seppure progettata per non esserlo.

La progettazione e realizzazione di passaggi per pesci è materia complessa e trasversale a più discipline, che richiede un livello elevato di specializzazione da parte delle diverse figure professionali coinvolte.

La progettazione dei passaggi per pesci è un processo logico-analitico multifase:



7.3.1 Acquisizione delle informazioni esistenti

In questa prima fase della progettazione devono essere acquisiti e riordinati tutti i dati e le informazioni preesistenti:

- elaborati grafici e documentazione riguardanti i manufatti esistenti (cartografia territoriale di dettaglio, cartografia catastale);
- dati urbanistici e vincolistici con particolare riferimento a strumenti di pianificazione territoriale e urbanistici sovra-comunali, strumenti urbanistici comunali, vincoli ambientali, vincoli idrogeologici;
- dati pregressi biologici, di qualità ambientale e di biodiversità, relativi agli ambienti fluviali in oggetto e al territorio (relazioni e documentazione cartografica di Carte Ittiche, Piani Ittici, Piani di Settore di Parchi, cartografia e formulari di siti della Rete Natura 2000; studi e progetti sito-specifici, ...).

In questa prima fase devono anche essere realizzati i primi sopralluoghi nell'area interessata dall'esecuzione dell'opera, volti ad acquisire una conoscenza diretta ed approfondita del sito di intervento e del contesto e a rilevare aspetti e criticità non citati o sottovalutati nella documentazione acquisita, ma risultati meritevoli di maggiore attenzione, alla luce dei sopralluoghi fatti. Anche grazie ai sopralluoghi e al riesame della documentazione acquisita, sarà possibile stabilire il livello di approfondimento e l'impegno necessario per le successive due fasi.

In questa fase occorre anche preoccuparsi di richiedere eventuali pareri e permessi da parte della Committenza e di altri Organismi, per esempio per l'esecuzione di indagini in loco oppure per l'accesso dei mezzi in siti e strade privati.

7.3.2 Inquadramento idrologico e idraulico

In questa fase occorre creare un quadro completo dei vincoli e delle condizioni al contorno in cui si inserirà l'opera. Dovranno essere approfonditi in particolare i seguenti aspetti (evidentemente già delineati -dunque qui ripresi molto sinteticamente- nel capitolo precedente riguardante il censimento e la descrizione delle discontinuità fluviali):

- stato attuale di frammentazione del corso d'acqua a monte e a valle della discontinuità esistente e stato del sistema idrografico di appartenenza;
- condizioni idrologiche ed idrauliche, utilizzo della risorsa idrica, periodicità e dimensione degli eventi eccezionali di piena, andamento delle portate, derivazioni, DMV;
- caratteristiche di dettaglio dello sbarramento, tipologia, funzionamento.

È prevedibile che in questa fase vadano condotti rilievi sul campo di tipo topografico, geologico, idraulico, sedimentologico. In particolare devono essere eseguiti:

- rilievi topografici di dettaglio;
- rilievi idraulici, batimetrici;
- rilievi di dettaglio del mesohabitat idraulico-morfologico nei tratti di intervento;
- rilievi geometrici dei manufatti esistenti, che integreranno la documentazione già raccolta;
- eventuali indagini geologiche e geotecniche;
- indagini della compagine sedimentologica, con caratterizzazione delle dinamiche e dell'entità del trasporto solido (natura, importanza e comportamento a livello dell'ostacolo, presenza di zone di interrimento e deposito a monte e valle, e così via).

Con questo approfondimento sarà anche possibile rilevare eventuali altre spiccate peculiarità ambientali del sito, che contribuiranno ad elaborare la soluzione progettuale più funzionale e rispondente alle condizioni ambientali al contorno.



Rilievi idraulici sul Fiume Adda sublacuale.

7.3.3 Inquadramento ecologico e faunistico

L'approfondimento e la comprensione delle caratteristiche dell'ecosistema fluviale oggetto di intervento sono attività essenziali, non solo perché completano il quadro delle conoscenze necessarie a progettare passaggi per pesci realmente funzionali, ma anche perché possono evidenziare la necessità e, contemporaneamente, creare l'opportunità che gli stessi passaggi, grazie alle soluzioni di progetto adottate, assolvano anche alla funzione più ambiziosa di vero e proprio "corridoio ecologico", in grado di ristabilire quella continuità naturale persa con l'interposizione dell'opera di sbarramento. Tornando, infatti, con una breve ma doverosa digressione, alle basi della conoscenza in materia di ecologia fluviale, non si può esimersi dal riprendere i concetti di "River continuum" e di "spiralizzazione" di energia e materia, che di fatto spiegano il funzionamento di un qualsivoglia ecosistema fluviale naturale; esso, di fatto, in condizioni naturali è caratterizzato da un gradiente continuo di condizioni ambientali da monte verso valle, alle quali le biocenosi acquatiche si sono adattate e con le quali sono coevolute nel tempo (Vannote *et al.*, 1980; Bayley & Li, 1992; AA.VV., 1995), definendo un gradiente anche nella loro composizione specifica e nella struttura, a seconda del tratto fluviale considerato.

Soprattutto nel caso in cui allo sbarramento si associ anche un'opera di derivazione idrica, è dunque evidente che gli effetti dell'alterazione si producono di fatto non solo sulla fauna ittica, con l'impedimento delle migrazioni e gli effetti secondari che ne conseguono, ma anche e soprattutto su tutto l'ecosistema fluviale, perciò di nuovo e indirettamente sulla fauna ittica. Di fatto, una derivazione idrica può determinare:

- la diminuzione della superficie dell'alveo bagnato e della profondità dell'acqua a valle, che si traducono in una minore produttività complessiva dell'ecosistema fluviale (Blyth, 1980 in Armitage, 1984). Con la riduzione dello spazio disponibile diminuisce infatti la capacità portante del corso d'acqua e le popolazioni presenti sono soggette ad un aumento della competizione intra- e inter-specifica;
- la riduzione delle capacità auto-depurative del corso d'acqua e del potere di diluizione degli inquinanti;
- l'alterazione del regime termico, che può avere ripercussioni anche gravi sulla fauna acquatica, in particolare sugli organismi stenotermi, per via del ruolo chiave che esso gioca nella regolazione dei processi vitali (maturazione sessuale, velocità di accrescimento ecc.);
- l'alterazione del regime idraulico, ancor più grave se prodotta da fenomeni di *hydropeaking*, che determinano repentine variazioni di livello e dunque di dimensioni dell'alveo bagnato ed anche, in diversi casi, il raggiungimento di condizioni idrauliche critiche per gli organismi fluviali. Ciò a danno sia della fauna ittica, in particolare degli stadi giovanili, sia della fauna macrobentonica;
- l'impatto anche notevole che può essere prodotto da operazioni di manutenzione dello sbarramento, per esempio da un'operazione di svasso di un serbatoio artificiale. Tali operazioni colpiscono direttamente gli organismi per occlusione e abrasione degli organi respiratori e degli apparati di filtrazione e indirettamente, in quanto la torbidità limita la possibilità di alimentarsi degli animali che predano a vista; la sedimentazione del materiale fine, inoltre, occlude gli interstizi di fondo distruggendo i microhabitat di invertebrati e pesci bentonici.

Ciò detto, risulta auspicabile che, qualora all'opera di sbarramento possano essere imputati altri effetti, oltre a quello diretto di impedimento alla migrazione ittica, la progettazione di un passaggio per pesci, in corrispondenza di tale alterazione, tenga conto della possibilità che il passaggio realizzato sia il più possibile utile ed efficace nel mitigare, se non addirittura annullare, anche gli altri effetti eventualmente prodotti sull'ecosistema fluviale nel suo complesso.

A sinistra: sbarramento sul Fiume Adda ad Ardenno (SO), per il quale è attualmente in corso la realizzazione del passaggio per pesci.



A destra: diga di Isola Serafini, Fiume Po (PR), sprovvista di passaggio per pesci. Vista da valle.

A sinistra: doppia briglia sul Fiume Adda sublacuale a Pizzighettone (CR), sprovvista di passaggio per pesci. Vista da valle.



A destra: sbarramento sul Fiume Chiese (BS), sprovvisto di passaggio per pesci. Vista da valle.

A destra: doppia briglia sul Fiume Oglio a Isola Dovarese (MN), sprovvista di passaggio per pesci. Vista da valle.



A destra: sbarramento sul Fiume Mincio a Governolo (MN), sprovvisto di passaggio per pesci. Vista da valle.

Tornando agli aspetti operativi delle fasi della progettazione, questa terza fase, che in realtà può compiersi anche in concomitanza con la seconda, consiste nella creazione di un quadro il più possibile esaustivo sullo stato e sulle potenzialità ecologiche e faunistiche dell'ecosistema e della comunità ittica locale.

Gli aspetti che devono essere approfonditi in questo caso riguardano:

- naturalità e funzionalità ecologica dell'habitat fluviale e dell'habitat ripariale;
- disponibilità e diversificazione della comunità dei macroinvertebrati bentonici;
- composizione della comunità ittica attuale e potenziale (cioè nelle migliori condizioni di naturalità auspicabili) e caratteristiche autoecologiche e biologiche delle singole specie.

Per l'approfondimento di questi argomenti, non solo saranno utili i documenti raccolti nella prima fase, grazie ai quali potrà essere ricostruito un quadro sullo stato originario del corso d'acqua e della sua fauna ittica e sulla loro evoluzione, ma, verosimilmente, dovranno anche essere condotti specifici rilievi sul campo, finalizzati ad aggiornare le informazioni raccolte. Tali monitoraggi idrobiologici ed ecologici ante-operam assolveranno anche alla funzione di controllo per la verifica della funzionalità degli interventi progettati e realizzati, nella fase di funzionamento a regime dell'opera. Tali rilievi devono comprendere:

- indagine sulla fauna ittica a monte e a valle delle opere trasversali di frammentazione della continuità fluviale;
- indagine sul macrobenthos a monte e a valle delle opere trasversali di frammentazione della continuità fluviale;
- indagine sulla qualità dell'habitat fluviale;
- indagine sulla funzionalità fluviale e dell'ambiente ripariale.

A questo punto, dal momento che la fauna ittica costituisce il centro dell'interesse della progettazione di un passaggio artificiale, risulta opportuno approfondire alcuni aspetti che la riguardano e fornire gli elementi conoscitivi essenziali per la progettazione.



*Rilievi della fauna ittica.
A sinistra: campionamento
tramite elettropesca. A
destra: campionamento
tramite elettropesca condotta
manovrando da barca.*

*Rilievi subacquei della fauna
ittica.*

7.3.3.1 La fauna ittica

Il principio guida nella scelta delle molteplici tipologie di passaggi artificiali per la risalita dei pesci deve soddisfare le seguenti condizioni fondamentali: innanzitutto il passaggio deve attrarre i pesci in un punto determinato del corso d'acqua a valle dell'ostacolo, successivamente deve consentire loro la risalita e, conseguentemente, deve permettere loro il superamento dell'ostacolo. Perché tutto ciò avvenga, la progettazione dei passaggi per pesci deve prendere in considerazione molteplici fattori, che vanno dalla composizione specifica della comunità ittica, alla biologia, all'autoecologia, alla fisiologia e all'etologia delle singole specie, al loro stato di conservazione e ad altri aspetti ancora. Tali approfondimenti si rendono necessari per diversi motivi, tra cui i principali sono:

- una comunità ittica è diversamente composta e strutturata a seconda della localizzazione geografica e della tipologia di corso d'acqua abitato. Le diverse specie ittiche possono essere più o meno interessate agli spostamenti in dipendenza del proprio ciclo vitale, della propria autoecologia, dello stadio vitale in cui si trovano i singoli pesci, del periodo stagionale, delle condizioni climatiche e delle caratteristiche ambientali dell'ecosistema in cui si trovano;
- la capacità natatoria è diversa e caratteristica non solo delle singole specie ma anche, all'interno della stessa specie, dei diversi stadi vitali;
- la capacità di salto varia sia tra le specie sia, anche in questo caso, tra i diversi stadi di sviluppo;

- la temperatura dell'acqua e la velocità di corrente condizionano la massima velocità di nuoto raggiungibile dai pesci e la loro resistenza;
- il comportamento dei pesci di fronte ad un ostacolo rivela una certa ritualità o ripetibilità, che devono essere tenute in conto nella progettazione del passaggio, soprattutto dell'imbocco di valle.

Ciò premesso, nei paragrafi seguenti si riporta un approfondimento sulla fauna ittica lombarda, sul fenomeno delle migrazioni dei pesci nella nostra Regione e sugli aspetti fisiologici ed ecologici connessi con le capacità natatorie e la resistenza alla corrente dei pesci.

7.3.3.1.1 Le specie ittiche native in Lombardia

Con la sua straordinaria ricchezza di ambienti acquatici, il territorio regionale lombardo è in grado di offrire alla fauna ittica selvatica la più ampia varietà di habitat d'acqua dolce riscontrabili alle nostre latitudini. Con il tratto lombardo di Fiume Po ed i suoi maggiori affluenti di sinistra orografica (Ticino, Adda, Oglio, Mincio), i grandi e piccoli laghi prealpini, le risorgive e i fontanili, i torrenti e i laghi di montagna, nonché con la fitta rete di rami fluviali, rogge e canali che innervano tutto il suo territorio, dalle Alpi alla bassa Pianura Padana, la Lombardia è la regione più ricca di specie ittiche d'acqua dolce native italiane, tra cui si riconoscono anche diversi endemismi e sub-endemismi.

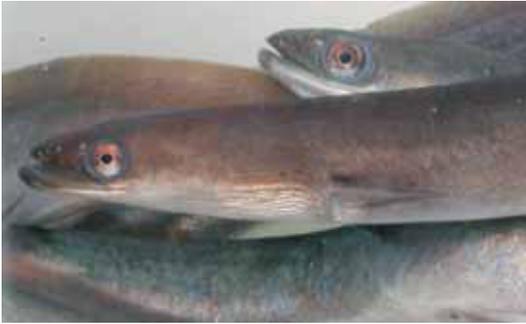
Favorite da un'eccezionale disponibilità di habitat e ambienti, le più diverse specie ittiche hanno colonizzato nel tempo le acque lombarde e sono coevolute con esse. Specie stenoaline dulcicole stenoterme fredde o euriterme, specie eurialine dulcicole, specie sedentarie ad elevata selettività ambientale, specie vagili e specie migratrici obbligate e facoltative, specie stenoecie ed euriecie, specie limnofile, reofile o euritopiche, specie erbivore, bentofaghe, ittiofaghe o onnivore, specie pelagiche, demersali o bentoniche, specie endemiche del bacino padano o subendemiche e specie ubiquitarie, hanno tutte trovato in Lombardia la possibilità di insediarsi e costruire insieme un patrimonio ittico prezioso.

Di fatto nella nostra Regione si contano 38 specie ittiche autoctone; tra queste, 3 specie sono ormai estinte da decenni dalle acque lombarde -storione comune, storione ladano e lampreda di mare- ed una specie, la carpa, può considerarsi autoctona sebbene le sue origini storiche, che ci riportano indietro probabilmente fino all'Età Romana, fossero asiatiche. A questo gruppo si aggiunge anche una forma (o ecotipo) di trota, la trota lacustre, non inserita negli elenchi delle specie native, dal momento che l'attuale classificazione non ne riconosce il rango di "buona specie", ma meritevole di attenzione per la propria autoecologia. Essa infatti è la forma di trota storicamente presente nei grandi laghi prealpini, che per riprodursi necessita di risalire gli immissari.

Come si vede esaminando la tabella relativa agli habitat naturalmente colonizzati dalle specie native lombarde (escluse le estinte), la gran parte di esse è naturalmente presente in diversi ambienti, sia ad acque correnti sia lacustri. Svariate specie si definiscono euritopiche, in quanto sono in grado di adattarsi a diverse condizioni ambientali e ciò consente loro di colonizzare diversi tipi di habitat, da quelli ad acque fresche e correnti a quelli con acque lente e più calde, fino agli ambienti lacustri; tra le specie spiccatamente euritopiche si riconoscono in particolare il ghiozzo padano, il cobite comune, il cavedano, l'anguilla. Vi sono poi specie più esigenti, come la trota marmorata, il temolo, ma anche Ciprinidi come il barbo canino, il pigo, la lasca, o altre ancora e poi specie estremamente selettive, come il cobite mascherato o il panzarolo, che si ritrovano esclusivamente in piccoli ambienti di risorgiva o, nel caso del cobite mascherato, in rarissimi ambienti laterali di lanca dei grandi fiumi della pianura lombarda, o il carpione, che costituisce un caso del tutto eccezionale, dal momento che si tratta di un endemismo del Lago di Garda.

Nella rosa delle specie native si riconoscono inoltre numerose emergenze faunistiche, a partire da 17 specie endemiche e sub-endemiche Italiane, tra cui peraltro numerose ad areale ristretto al bacino padano ed alcune ad areale ancor più ristretto (si ricordi il carpione). Si riconoscono poi ben 13 specie inserite in Allegato B della Direttiva Habitat 92/43/CEE, riconosciute dunque come *taxa* di interesse comunitario. La D.g.r. n. 7/4345 del 20 aprile 2001 indica 17 specie come prioritarie, cioè meritevoli di azioni di gestione, conservazione e incremento prioritarie rispetto alle altre specie. In questo senso, tra le azioni di maggiore importanza per la gran parte delle specie ittiche native lombarde che, come dimostra la tabella riportata all'interno del paragrafo sulle migrazioni, necessitano

di compiere spostamenti nei corsi d'acqua per i motivi più diversi, si configura naturalmente la deframmentazione fluviale.



Specie ittiche native della Lombardia.

A sinistra: anguille.

A destra: storione cobice.



A sinistra: trota marmorata.

A destra: temolo.



A sinistra: pigo.

A destra: lasca, in livrea nuziale.



A sinistra: barbo canino.

A destra: lampreda padana.



A sinistra: alborella.

A destra: scazzone.

Specie ittiche autoctone della Lombardia.

| Ordine | Famiglia | Nome scientifico | Nome comune | Origine | Classificazione bioecologica | Stato di conservazione | | | |
|--------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | Direttiva Habitat 92/43/CEE (¹ specie prioritarie) | Lista Rossa IUCN 2010 | Lista Rossa italiana (Zerunian, 2007) | d.g.r. n. 7/4345 20 aprile 2001 |
| ACIPENSERIFORMES | Acipenseridae | <i>Acipenser naccarii</i> | Storione cobice | Sub-endemica in Italia | migratrice obbligata - anadroma | HAB.92-2 ¹ e4 | VU | CR | 13 |
| | Acipenseridae | <i>Acipenser sturio</i> | Storione comune | Autoctona | migratrice obbligata - anadroma | HAB.92-2 ¹ e4 | CR | EX | 12 |
| | Acipenseridae | <i>Huso huso</i> | Storione ladano | Autoctona | migratrice obbligata - anadroma | non previsto | EN | EX | 12 |
| ANGUILLIFORMES | Anguillidae | <i>Anguilla anguilla</i> | Anguilla | Autoctona | migratrice obbligata - catadroma | non previsto | non previsto | NT | 3 |
| CLUPEIFORMES | Clupeidae | <i>Alosa fallax*</i> | Cheppia o alosa | Autoctona | migratrice obbligata - anadroma | HAB.92-2e5 | non previsto | VU | 10 |
| CYPRINIFORMES | Cyprinidae | <i>Alburnus alburnus alborella</i> | Alborella | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | non previsto | non previsto | NT | 5 |
| | Cyprinidae | <i>Barbus meridionalis caninus</i> | Barbo canino | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2e5 | EN | VU | 12 |
| | Cyprinidae | <i>Barbus plebejus</i> | Barbo comune | Sub-endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2e5 | LC | NT | 4 |
| | Cyprinidae | <i>Chondrostoma genei</i> | Lasca | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2 | LC | VU | 11 |
| | Cyprinidae | <i>Chondrostoma soetta</i> | Savetta | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2 | EN | VU | 8 |
| | Cobitidae | <i>Cobitis taenia bilineata</i> | Cobite comune | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2 | LR/lc | NT | 6 |
| | Cyprinidae | <i>Cyprinus carpio</i> | Carpa | Autoctona | eurialina dulcicola | non previsto | DD | non previsto | |
| | Cyprinidae | <i>Gobio gobio</i> | Gobione | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | VU | NT | 4 |
| | Cyprinidae | <i>Leuciscus cephalus</i> | Cavedano | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | LR/lc | LC | 2 |
| | Cyprinidae | <i>Leuciscus souffia muticellus</i> | Vairone | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2 | non previsto | NT | 7 |
| | Cyprinidae | <i>Phoxinus phoxinus</i> | Sanguinerola | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | LR/lc | VU | 4 |
| | Cyprinidae | <i>Rutilus erythrophthalmus</i> | Triotto | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | non previsto | LC | NT | 4 |
| | Cyprinidae | <i>Rutilus pigus</i> | Pigo | Sub-endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2e5 | DD | VU | 11 |
| | Cobitidae | <i>Sabanejewia larvata</i> | Cobite mascherato | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2 | LC | VU | 9 |
| | Cyprinidae | <i>Scardinius erythrophthalmus</i> | Scardola | Autoctona | eurialina dulcicola | non previsto | LR/lc | NT | 2 |
| Cyprinidae | <i>Tinca tinca</i> | Tinca | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | LR/lc | NT | 3 | |
| ESOCIFORMES | Esocidae | <i>Esox lucius</i> | Luccio | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | non previsto | VU | 5 |
| GADIFORMES | Gadidae | <i>Lota lota</i> | Bottatrice | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | non previsto | DD | 8 |
| GASTEROSTEIFORMES | Gasterosteidae | <i>Gasterosteus aculeatus</i> | Spinarello | Autoctona | eurialina dulcicola | non previsto | LR/lc | VU | 6 |
| MUGILIFORMES | Mugilidae | <i>Liza ramada</i> | Cefalo calamita | Autoctona | migratrice facoltativa | non previsto | non previsto | non previsto | 6 |
| PERCIFORMES | Gobiidae | <i>Knipowitschia punctatissima</i> | Panzarolo | Sub-endemica in Italia | stenoalina dulcicola | non previsto | NT | EN | 9 |
| | Gobiidae | <i>Padogobius martensii</i> | Ghiozzo padano | Sub-endemica in Italia | stenoalina dulcicola | non previsto | LC | VU | 3 |
| | Percidae | <i>Perca fluviatilis</i> | Pesce persico | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | LR/lc | NT | 4 |
| | Blennidae | <i>Salaria fluviatilis</i> | Cagnetta | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | LC | VU | 6 |
| PETROMYZONTIFORMES | Petromyzontidae | <i>Lampetra zanandreae</i> | Lampreda padana | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2e5 | LC | EN | 10 |
| | Petromyzontidae | <i>Petromyzon marinus</i> | Lampreda di mare | Autoctona | migratrice obbligata - anadroma | HAB.92-2 | LR/lc | CR | |
| PLEURONECTIFORMES | Pleuronectidae | <i>Platichthys flesus italicus</i> | Passera di mare | Sub-endemica in Italia | migratrice facoltativa | non previsto | non previsto | non previsto | 6 |
| SALMONIFORMES | Salmonidae | <i>Salvelinus alpinus</i> | Salmerino alpino | Autoctona | stenoalina dulcicola | | LR/lc | EN | 11 |
| | Salmonidae | <i>Salmo trutta carpio</i> | Carpione del Garda | Endemica in Italia | stenoalina dulcicola | non previsto | CR | CR | 14 |
| | Salmonidae | <i>Salmo (trutta) marmoratus**</i> | Trota marmorata | Sub-endemica in Italia | stenoalina dulcicola | HAB.92-2 | LC | EN | 12 |
| | Salmonidae | <i>Salmo (trutta) trutta**</i> | Trota fario | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | non previsto | non previsto | 6 |
| | Salmonidae | <i>Thymallus thymallus</i> | Temolo | Autoctona | stenoalina dulcicola | non previsto | LR/lc | EN | 11 |
| SCORPAENIFORMES | Cottidae | <i>Cottus gobio</i> | Scazzone | Autoctona | stenoalina dulcicola | HAB.92-2 | LR/lc | VU | 10 |

* Alla specie *Alosa fallax* sono riconducibili i due ecotipi di *Alosa*: la cheppia, specie diadroma presente in Lombardia esclusivamente in Po e, potenzialmente, nei tratti terminali dei suoi maggiori affluenti, e l'agone, forma lacustre che vive nei grandi laghi prealpini e tende a risalire i tratti terminali degli immissari per la riproduzione.

** Si aggiunge la trota lacustre, nei grandi laghi prealpini, ecotipo di *Salmo (trutta) trutta* o, più probabilmente, di *Salmo (trutta) marmoratus*.

| Specie (nome comune) | Habitat naturali ad acque correnti | | | | | | | | Biotopi naturali lacustri | | |
|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|--|--|---|--|-----------|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Torrente alpino | Torrente prealpino e appenninico | Grande fiume di fondovalle, suoi rami laterali e tratti terminali degli affluenti | Tratto prelacuale, di transizione, di grande fiume di fondovalle | Tratto sublacuale di transizione, di grande fiume di pianura | Grande fiume di alta pianura, suoi rami laterali e tratti terminali degli affluenti | Grande fiume di bassa pianura, suoi rami laterali, lanche, e affluenti | Risorgive | Laghi alpini | Grandi laghi prealpini | Piccoli laghi prealpini |
| Cobite comune | | | | | | | | | | | |
| Ghiozzo padano | | | | | | | | | | | |
| Cavedano | | | | | | | | | | | |
| Anguilla | | | | | | | | | | | |
| Vairone | | | | | | | | | | | |
| Sanguinerola | | | | | | | | | | | |
| Alborella | | | | | | | | | | | |
| Barbo comune | | | | | | | | | | | |
| Scardola | | | | | | | | | | | |
| Tinca | | | | | | | | | | | |
| Luccio | | | | | | | | | | | |
| Pesce persico | | | | | | | | | | | |
| Scazzone | | | | | | | | | | | |
| Lasca | | | | | | | | | | | |
| Carpa | | | | | | | | | | | |
| Trota marmorata | | | | | | | | | | | |
| Storione cobice | | | | | | | | | | | |
| Savetta | | | | | | | | | | | |
| Gobione | | | | | | | | | | | |
| Triotto | | | | | | | | | | | |
| Pigo | | | | | | | | | | | |
| Temolo | | | | | | | | | | | |
| Barbo canino | | | | | | | | | | | |
| Bottatrice | | | | | | | | | | | |
| Cagnetta | | | | | | | | | | | |
| Lampreda padana | | | | | | | | | | | |
| Trota fario | | | | | | | | | | | |
| Cobite mascherato | | | | | | | | | | | |
| Spinarello | | | | | | | | | | | |
| Salmerino alpino | | | | | | | | | | | |
| Cheppia o Alosa | | | | | | | | | | | |
| Cefalo calamita | | | | | | | | | | | |
| Panzarolo | | | | | | | | | | | |
| Passera di mare | | | | | | | | | | | |
| Carpione del Garda | | | | | | | | | | | |

Legenda:

- Habitat naturalmente abitato dalla specie
- Ecotipo trota lacustre
- Esclusivamente i piccoli laghi prealpini profondi
- Endemismo del Lago di Garda
- Ecotipo lacustre, noto come “agone”

Habitat naturali delle specie ittiche autoctone lombarde. Le specie sono ordinate in ordine decrescente di occorrenza nei diversi ambienti, dalle specie spiccatamente euritopiche a quelle estremamente selettive.

7.3.3.1.2 Le migrazioni

Sono poche le specie ittiche che possono definirsi assolutamente sedentarie: di fatto anche quelle definibili tali, perché non compiono nessun tipo di spostamento rituale, possono comunque avere necessità di muoversi, per esempio per cercare nuovi habitat idonei alla loro sopravvivenza dopo eventi perturbativi, come l'arrivo di predatori o competitori, il degrado o la distruzione dell'ambiente colonizzato. La maggior parte delle specie, comunque, effettua movimenti su scala diversa nel corso del proprio ciclo vitale.

Con il termine migrazione si intende ogni movimento direzionale di massa da un'area a un'altra, che abbia caratteristiche di regolarità nel tempo o in relazione con la fase biologica (McKeown, 1984). Di fatto sono molte le specie native lombarde che compiono spostamenti di massa stagionali, per lo più esibendo una ritualità associata ad un particolare stadio del loro ciclo vitale. Sono infatti numerose le specie che si spostano alla ricerca di aree adatte alla riproduzione e alla deposizione delle uova (**migrazioni riproduttive o genetiche**), tra queste ve ne sono alcune, come già accennato in premessa, che per la riproduzione percorrono enormi distanze e cambiano addirittura ambiente, passando dalle acque interne al mare oppure viceversa (specie diadrome obbligate: catadrome, si riproducono in mare; anadrome, si riproducono in fiume), tra queste si segnala l'anguilla che, oltre a percorrere migliaia di chilometri fino al Mare dei Sargassi per riprodursi, è anche una specie semelpara (cioè si riproduce una volta sola) e a tornare sono solo le giovani anguille (leptocefali). Altre specie, pur muovendosi anche di parecchi chilometri, non lasciano le acque interne (specie potamodrome). Alcune specie poi, in particolare le stesse specie diadrome, realizzano anche migrazioni che riportano gli stadi giovanili agli ambienti di accrescimento (**migrazioni per accrescimento**), che per le specie anadrome sono gli ambienti marini, solitamente quelli costieri, mentre per le specie catadrome sono i corsi d'acqua che vengono annualmente risaliti (come le giovani anguille, o ragani: lo stadio vitale a cui giungono nei nostri fiumi per vie naturali). In realtà ogni popolazione, indipendentemente se migratrice per motivi riproduttivi e/o di accrescimento, si riproduce in aree ben delimitate in relazione alla distribuzione delle correnti locali, in modo da assicurare che le larve vengano trasportate in una direzione ben determinata verso le aree marine in cui si concentreranno i giovanili (aree di *nursery*). Queste sono aree che presentano condizioni ambientali idonee e risorse trofiche abbondanti che consentono ai giovanili di accrescersi velocemente. Questi ultimi, con l'aumentare delle dimensioni, tendono ad abbandonare le aree di *nursery* per riunirsi progressivamente con la popolazione di origine, compiendo uno spostamento che può anche assumere tutte le caratteristiche di una vera e propria migrazione, come descritto sopra.

Esistono anche **migrazioni di carattere trofico**, legate all'evoluzione stagionale degli ecosistemi e dunque della disponibilità di cibo nei diversi ambienti; tali migrazioni possono coinvolgere specie diadrome (che in questo caso si definiscono migratrici facoltative) o di nuove specie stenoaline dulcicole.

Oltre alle migrazioni legate alla fase biologica delle specie come quelle citate finora, negli ultimi decenni si è diffuso un fenomeno di massa, in realtà "forzato" dalle nuove condizioni ambientali stabilitesi alle nostre latitudini, che consiste in spostamenti di massa stagionali di popolazioni che fuggono dai laghi e dai grandi fiumi, costrette a cercare rifugio in piccoli ambienti laterali o nelle acque profonde, preferibilmente coperti da una buona fascia perfluviale arborea, dagli uccelli ittiofagi svernanti che, con l'arrivo dell'autunno, si stabiliscono sui grandi bacini predando insistentemente le comunità ittiche locali. Questo fenomeno è stato ampiamente osservato in alcune specie native come alborella, lasca, savetta, pigo e scardola, ma è verosimile che il fenomeno ne riguardi altre ancora. La stagionalità con cui avviene il fenomeno descritto, le sue dimensioni in termini di masse coinvolte, nonché l'urgenza di salvaguardare specie anche di grande interesse conservazionistico, hanno costituito lo spunto per concepire un'ulteriore tipologia di migrazione che non risponde certo a fasi biologiche particolari delle specie ittiche interessate, ma che piuttosto si inquadra come un fenomeno "forzato" da un fenomeno perturbativo di intensità, frequenza e scala altrimenti difficilmente sopportabili dalle popolazioni di pesci: la **migrazione forzata per sfuggire all'avifauna ittiofaga**.

Calendario delle migrazioni delle specie ittiche native in Lombardia.

Sono elencate le specie native tuttora esistenti nei corsi d'acqua lombardi, raggruppate per classi che ne definiscono la capacità di spostamento (vagilità).

| Vagilità della specie | Specie (nome comune) | Calendario delle migrazioni | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic |
| migratrice | storione cobice | | | | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| | anguilla | ↑ | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | cheppia | | | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ | | | |
| | cefalo calamita | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | passera di mare | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| molto vagile | alborella | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | barbo comune | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | lasca | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | savetta | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | cavedano | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | vairone | | | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | pigo | | | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | temolo | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | trota marmorata | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | agone | | | | | ↑ | ↑ | | | | | | |
| moderatamente vagile | barbo canino | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | gobione | | | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | luccio | | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | bottatrice | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | lampreda padana | ↑ | ↑ | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | pesce persico | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | trota fario | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| scarsamente vagile | carpa | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | sanguinerola | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | scardola | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| | triotto | | | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ |
| sedentaria | cagnetta | | | | | | | | | | | | |
| | tinca | | | | | | | | | | | | |
| | cobite comune | | | | | | | | | | | | |
| | cobite mascherato | | | | | | | | | | | | |
| | spinarello | | | | | | | | | | | | |
| | panzaro | | | | | | | | | | | | |
| | ghiozzo padano | | | | | | | | | | | | |
| | salmerino alpino | | | | | | | | | | | | |
| | carpione del Garda | | | | | | | | | | | | |
| | scazzone | | | | | | | | | | | | |

Legenda:

Direzione di migrazione: verso monte ↑ e verso valle ↓

↑↓ migrazioni riproduttive (o genetiche)

↑↓ migrazioni per accrescimento

↑↓ migrazioni trofiche

↑↓ migrazioni forzate per sfuggire all'avifauna ittiofaga

7.3.3.1.3 Aspetti fisiologici e comportamentali

Le capacità natatorie. Nel presente capitolo sono descritte alcune delle caratteristiche natatorie dei pesci ed i meccanismi che le regolano, la cui conoscenza è d'aiuto per una corretta scelta, dimensionamento e quindi progettazione dei passaggi per pesci (fonte Clay C.H., 1995).

Principali attività muscolari. Generalmente per i pesci possiamo distinguere diversi livelli di nuoto, nei quali intervengono differenti tipi di muscoli:

attività di crociera (cruising activity): può essere mantenuta per ore senza causare nessun rilevante mutamento fisiologico nell'organismo, mediante l'utilizzo dell'attività muscolare aerobica.

attività di spunto (burst activity): necessita uno sforzo intenso che non può essere mantenuto a lungo

(da pochissimi secondi a una decina di secondi, dipende dalle dimensioni del pesce e soprattutto dalla sua lunghezza), generalmente associata a brusche accelerazioni. In questa attività muscolare tutta la potenza deriva da processi anaerobici, nei quali il glicogeno muscolare viene trasformato in acido lattico, tale processo fornisce ai muscoli una grande quantità di energia rapidamente, ma, data la limitata disponibilità di glicogeno nei muscoli e il rapido aumento di acido lattico, tende ad inibire altrettanto velocemente la contrazione muscolare.

attività sostenuta (*sustained activity*): può essere mantenuta per alcuni minuti ma stanca il pesce; questa attività di nuoto sfrutta in proporzioni diverse l'attività aerobica e anaerobica.

Velocità di nuoto e di resistenza. Uno dei fattori principali che devono essere tenuti in considerazione per la progettazione dei passaggi per pesci è proprio la capacità di nuoto dei pesci migratori, che è espressa come velocità e resistenza di nuoto, ovvero il tempo durante il quale il pesce può mantenere la velocità necessaria per superare l'ostacolo.

Il movimento ondulatorio della pinna caudale è la principale fonte di propulsione della maggior parte delle specie di pesci, durante gli spostamenti migratori, in particolare durante il superamento degli ostacoli.

Da dati sperimentali, la distanza percorsa da un pesce (A) ad ogni ondulazione del corpo può variare tra le 0.6 e le 0.8 volte la sua lunghezza (L) (Wardle, 1975); la velocità di nuoto può essere espressa come segue:

$$V = A \cdot f$$

dove:

f = frequenza di ondulazione della pinna caudale (numero di ondulazioni per secondo).

La massima velocità di nuoto è perciò una funzione della massima frequenza di battuta della pinna caudale; tale frequenza è limitata dal tempo minimo (t) tra due contrazioni dei muscoli paraventrali, che assicurano la propulsione del pesce.

L'espressione così diventa, considerando il valore medio di 0.7 per il parametro A :

$$V = 0.7 \cdot \frac{L}{2t}$$

dove:

L = lunghezza del pesce (m)

Sperimentalmente è stato visto che il tempo che separa due successive contrazioni muscolari è più corto nei piccoli pesci (Wardle, 1975); la contrazione muscolare con attività anaerobica è fortemente influenzata dalla temperatura dell'acqua e il tempo minimo tra due contrazioni decresce al crescere della temperatura.

Tenendo conto di tali considerazioni, la massima velocità di nuoto dipende essenzialmente dalla lunghezza del pesce e dalla temperatura, mentre la resistenza allo sforzo dipende dalle riserve di glicogeno disponibili nel muscolo, in quanto esso verrà consumato tanto più rapidamente quanto il pesce eccederà rispetto alla sua velocità di crociera (*cruising activity*); la resistenza dipende anche dalla morfologia del pesce, considerando la relazione lunghezza-peso, dalla percentuale di massa muscolare e dalla temperatura.

Diversi esperimenti condotti in Inghilterra (Wardle, 1980; Zhou, 1982; Beach, 1984) hanno permesso di mettere a punto delle espressioni empiriche che definiscono le relazioni tra la velocità di nuoto, la resistenza, la temperatura dell'acqua e la morfologia del pesce; da queste equazioni possono essere derivate la massima velocità di nuoto e la resistenza ad ogni velocità di corrente, in funzione della temperatura.

In effetti, la temperatura dell'acqua è un fattore determinante nell'influencare le capacità natatorie di un pesce, insieme con la lunghezza del pesce stesso: da esse dipendono in particolare la massima velocità e la resistenza allo sforzo. In particolare, è stato verificato che la massima velocità di nuoto di un pesce può addirittura raddoppiare con un aumento adeguato di temperatura. A questo proposito, è stata proposta un'equazione che restituisce (sulla base di dati sperimentali) la massima velocità

(m/s) in relazione alla lunghezza del pesce (Videler, 1993):

$$V_{\max} = 0.4 + 7.4L$$

Un altro aspetto interessante riguarda il fatto che all'aumentare della temperatura in realtà aumenta la velocità di nuoto, ma diminuisce la resistenza alla corrente: questo perché si realizza un maggior utilizzo di glicogeno, che, diminuendo più rapidamente, riduce le riserve muscolari, limitando a sua volta la resistenza del pesce.

La massima velocità di crociera, ovvero la velocità limite alla quale l'organismo non evidenzia alcun sintomo di affaticamento, aumenta rapidamente al crescere delle dimensioni del pesce; sulla base di verifiche e risultati sperimentali (Videler, 1993) è stata proposta un'equazione che restituisce la massima velocità di crociera in relazione alla lunghezza del pesce:

$$V_c = 2.3L^{0.8}$$

Distanza percorsa in relazione alla velocità di corrente. La massima distanza che un pesce può coprire (D) in un flusso dato ad una nota velocità (U), può essere determinata dalla seguente espressione, ricavata empiricamente (Beach, 1984):

$$D = (V - U) \cdot T$$

dove:

T = tempo di resistenza individuale (s) di un pesce che nuota ad una determinata velocità V.

Capacità di salto. Alcune specie ed in particolare i Salmonidi hanno la capacità di saltare ostacoli; la traiettoria del salto può essere paragonata alla traiettoria parabolica di un proiettile e viene espressa tramite le due semi equazioni:

$$X = (V_0 \cos \alpha) \cdot t$$

$$Y = (V_0 \sin \alpha) \cdot t - 0.5g t^2$$

dove:

X e Y = distanze orizzontali e verticali percorse dal proiettile (ovvero il pesce) (m)

V_0 = velocità iniziale (m/s)

α = angolo incidente sul piano dell'orizzonte (gradi)

g = accelerazione di gravità (9.81 m/s²).

Essendo la traiettoria seguita dal pesce parabolica, la massima altezza raggiunta dipende dalla velocità iniziale e dall'angolo di uscita dall'acqua:

$$Y_{\max} = \frac{(V_0 \sin \alpha)^2}{2g}$$

La massima distanza percorsa in orizzontale dipende anch'essa dagli stessi parametri V_0 e α , ed è espressa dalla formula:

$$X_{\max} = \frac{V_0^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{g}$$

7.3.4 Individuazione e sviluppo della soluzione di progetto

Una volta completato e analizzato il quadro ambientale e territoriale, nelle prime tre fasi, si può passare alla progettazione vera e propria.

Le questioni da affrontare e risolvere riguardano principalmente:

- la quantificazione e la verifica dei parametri idrologici ed idraulici;
- l'individuazione della più opportuna localizzazione del passaggio;
- la scelta della tipologia di passaggio e il dimensionamento dell'opera;
- lo sviluppo grafico della soluzione di progetto;
- la verifica del funzionamento idraulico della soluzione di progetto.

7.3.4.1 Quantificazione e verifica dei parametri idrologici ed idraulici

Durante tutta la fase di progettazione devono essere tenuti in attenta considerazione e calcolati i parametri idraulici e idrologici. In particolare, prima di giungere alla scelta della tipologia di passaggio per pesci, occorre:

- considerare il Deflusso Minimo Vitale, se si interviene su uno sbarramento a servizio di una derivazione idrica;
- quantificare la risorsa idrica disponibile e definire la quota parte che potrebbe essere impiegata per alimentare il passaggio, ai fini anche del suo migliore inserimento e localizzazione (paragrafo seguente);
- una volta definita la localizzazione, verificare da un punto di vista teorico l'esistenza di un idoneo effetto di richiamo per i pesci in risalita a valle dello sbarramento, che dovranno essere invogliati ad imboccarne l'ingresso;
- verificare la correlazione fra il rilascio del Deflusso Minimo Vitale e la quota idrica potenzialmente transitante nel passaggio, e studiare le opportune strategie di parzializzazione delle quantità e di transito attraverso lo sbarramento ed il passaggio, al fine di rendere il passaggio il più efficace possibile, prevedendo anche le modalità di regolazione e di controllo da parte degli organi di vigilanza;
- una volta scelta la tipologia di passaggio, individuare, partendo da valori misurati o stimati, le variazioni dei livelli dei peli liberi a monte e a valle della discontinuità, determinando il miglior range idraulico di funzionamento da scegliersi per garantire l'efficienza in differenti condizioni idrauliche.

7.3.4.2 Localizzazione del passaggio

Il primo fattore di scelta è legato all'inserimento dell'opera di mitigazione nel contesto dello sbarramento invalicabile. Di fondamentale importanza risultano in questo senso:

- la localizzazione del punto di imbocco (di valle);
- la localizzazione del punto di sbocco (di monte);
- lo sviluppo planimetrico dell'opera;
- la localizzazione del punto di rilascio della portata di richiamo;
- i sistemi di regolazione del flusso e del trasporto del materiale solido.

Identificando le aree dove i pesci si aggregano ed i punti dove tentano di oltrepassare l'ostacolo, semplicemente osservando il loro comportamento nei confronti di uno sbarramento (ad esempio una diga o una cascata naturale), è possibile adottare le migliori soluzioni di localizzazione. Le osservazioni permettono di trarre considerazioni che, seppur generali, divengono utili alla scelta progettuale.

- Il passaggio collocato su una sponda è preferito rispetto ad una collocazione centrale allo sbarramento, dato che i pesci si spostano maggiormente lungo le sponde (probabilmente per la velocità di corrente meno sostenuta e per la presenza di rifugi). In questo modo è anche più immediata e semplice la manutenzione ordinaria della struttura.

- Tra le localizzazioni spondali sono da preferirsi quelle nelle adiacenze di opere di derivazione esistenti, perché normalmente garantiscono una costante presenza d'acqua ed influenzano la stabilità del corso d'acqua sia a monte che a valle, evitando situazioni in cui, in condizioni di magra, vi sia un perfetto funzionamento della derivazione ed una asciutta parziale o totale del passaggio artificiale per pesci posto sull'altra sponda.
- In alternativa al posizionamento sulla sponda, è possibile collocare il passaggio in zone intermedie dello sbarramento, purché in corrispondenza di pozze (pool) sufficientemente profonde e con conformazione geomorfologica stabile nel tempo, sia a monte che a valle od in comprovata presenza di zone di aggregazione dell'ittiofauna presente nel corso d'acqua.
- L'ingresso del passaggio posto nel punto più a monte dello sbarramento, soprattutto nei casi di sbarramento obliqui rispetto alla direttrice del corso d'acqua, garantisce un elevato richiamo della fauna ittica, che tende a portarsi nel punto più alto a monte.
- Per grandi sbarramenti, soprattutto se ortogonali all'alveo del corso d'acqua, è consigliabile realizzare due passaggi su entrambe le sponde, eventualmente con un basamento in alveo che convogli ai lati la risalita dei pesci (ad esempio mediante la realizzazione di briglie a trapezio rilevate dal fondo nella parte centrale con canali più fondi ai lati, verso le opere di deframmentazione del corridoio ecologico).
- In presenza di derivazioni idroelettriche, dove l'acqua viene convogliata nelle turbine, i pesci sono generalmente attratti dai tubi di sfogo. In questa situazione, l'ingresso del passaggio deve essere adiacente allo scarico della centrale idroelettrica, ma non eccessivamente vicino alla zona di massima turbolenza.
- Allo stesso tempo, qualora l'opera venga inserita in uno sbarramento a scopo idroelettrico o irriguo, va verificato che le velocità della corrente generate dalle derivazioni non permettano un richiamo verso valle del pesce appena risalito ed eventualmente prevedere l'adozione di sistemi atti a risolvere questa problematica.
- I punti di sbocco a monte devono essere localizzati nelle zone d'alveo stabili, evitando condizioni di asciutta e quindi preferendo la vicinanza con le direttrici fluviali principali, che storicamente non hanno subito o non subiscono variazioni geomorfologiche significative o che non sono interessate da evidenti e significativi fenomeni di interrimento o sedimentazione.
- Lo sviluppo planimetrico dell'opera deve tener conto della sua lunghezza (prevedendo bacini di calma almeno ogni 4-5 m di salto), risultare compatto e stabile, preferendo condizioni di inserimento nei manufatti esistenti che si integrino anche dal punto di vista paesaggistico e architettonico, oltre che funzionale. Nel caso di sbarramenti esistenti, un ulteriore criterio di scelta è basato sulla gestione delle opere in termini di manutenzione, preferendo localizzazioni che, oltre a garantire gli aspetti specifici, facilitino anche l'integrazione delle esigenze gestionali e manutentive di tutte le opere presenti.
- La velocità di corrente all'ingresso del passaggio deve essere compresa tra 1 m/s e 2 m/s (1 per le specie a capacità natatorie minore come i Ciprinidi, salendo verso 2 nel caso dei Salmonidi), velocità che assicurano un punto di richiamo per i pesci.
- A monte dell'ostacolo, il passaggio non deve essere collocato in corrispondenza di una zona ad elevata velocità di corrente ma adeguatamente protetto, onde evitare l'intasamento da parte di corpi flottanti; la protezione migliore consiste nella creazione di un "bacino tampone o di raccordo", eventualmente utilizzabile anche per la successiva verifica di funzionalità del passaggio (realizzazione di cabine di monitoraggio, installazione di sistemi di conteggio e così via).
- La manutenzione delle opere è fondamentale e deve ovviare ai periodici danni causati dal trasporto solido e dall'evoluzione della situazione ambientale, che non deve mai essere trascurata, ma deve rappresentare una parte integrante degli aspetti progettuali. Una manutenzione ordinaria e la possibilità di modificare i passaggi sono parte integrante della gestione delle opere, in quanto gli eventi idrologici periodici o straordinari causano fatti nuovi, che possono modificare la funzionalità delle soluzioni adottate.

Tutti questi aspetti generali devono ovviamente essere valutati considerando lo specifico luogo fisico in cui il passaggio si realizza, sempre però integrando le conoscenze ecologiche con le conoscenze necessarie alla progettazione, che sono proprie dell'ingegneria idraulica e civile. Nella pratica, infatti, bisogna poi considerare che ogni realizzazione costituisce una risposta in misura delle esigenze locali, definite dalle quantità dei dati forniti. Naturalmente maggiori e note sono le informazioni iniziali, migliore è il risultato ottenibile, anche se quest'ultimo può dipendere da variabili che devono essere valutate durante successive modifiche.

Esempi di localizzazione del passaggio per pesci:

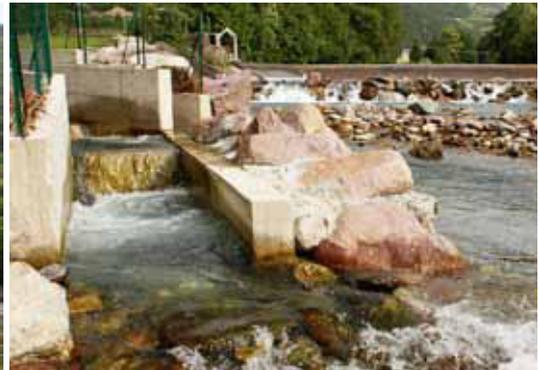
Colatore Muzza in località Tripoli a Massalengo (LO).



Fiume Serio a Parre (BG).



Fiume Serio a Villa d'Ogna (BG).



Fiume Brembo a Villa d'Almè (BG).



7.3.4.3 Scelta della tipologia di passaggio

Individuato e costruito il sistema delle informazioni e dei vincoli localizzativi, è possibile concentrarsi sulla scelta delle soluzioni tecnico – realizzative inerenti la tipologia di opera da progettare.

È evidente che, in linea generale, il migliore passaggio per pesci realizzabile è quello che, a fianco della percorribilità fluviale, si rivela anche in grado di ripristinare la continuità ecologica del corso d'acqua, laddove essa sia stata interrotta dall'opera di sbarramento, nel suo complesso.

In molti casi, però, le condizioni ambientali che si presentano al progettista sono tali da rendere per nulla o difficilmente perseguibile, a meno di un forte impegno economico (raramente disponibile), la via del ripristino completo della continuità fluviale, consentendo unicamente di concentrarsi sul ripristino della percorribilità da parte dei pesci.

La scelta stessa della tipologia di passaggio da progettare deve sottostare ad una serie di condizioni e vincoli dettati dalle caratteristiche ambientali e territoriali del sito. Riprendendo sinteticamente concetti già espressi, i principali criteri di selezione riguardano i seguenti aspetti:

- Vincoli al contorno dettati dalla presenza o meno di altre opere o di usi plurimi della risorsa idrica con esigenze dettate da gestioni o imposizioni normative particolari.
- Esigenze della comunità ittica e dell'intero ecosistema acquatico.
- Caratteristiche idrauliche e idrologiche dei corpi idrici, con particolare riferimento ai livelli idrici a monte e a valle della discontinuità, alle loro fluttuazioni e al regime delle portate, con particolare attenzione per i livelli di piena e di magra.
- L'interazione tra le portate di alimentazione delle opere in progetto con la restante gestione idraulica (DMV).
- Le componenti geomorfologiche interessate (pendenza ottimale per ogni categoria di opere), che divengono direttamente influenzanti gli spazi da occupare e quindi l'interdipendenza con le restanti realizzazioni presenti o da costruirsi in futuro.
- Le caratteristiche delle discontinuità, con particolare attenzione a vantaggi e svantaggi delle diverse opportunità realizzative e dell'efficacia finale del passaggio artificiale per pesci, anche in relazione ai risultati conseguiti nel piano di deframmentazione a monte ed a valle dell'opera singola in fase di mitigazione ambientale.
- Eventuali criteri di gestione, considerando anche i vincoli costruttivi legati a difficoltà realizzative su sbarramenti preesistenti e/o in siti particolarmente critici direttamente influenzanti i costi realizzativi.

Ogni singola tipologia realizzativa ha chiaramente intrinseci vantaggi, svantaggi, punti di forza e debolezze che, valutati alla luce del quadro conoscitivo precedentemente sviluppato, possono far prediligere una soluzione piuttosto che un'altra. Abbiamo visto che il principio guida nella scelta delle molteplici tipologie di passaggi artificiali per la risalita dei pesci deve soddisfare tre semplici condizioni fondamentali: innanzitutto il passaggio deve attrarre i pesci in un punto determinato del corso d'acqua a valle dell'ostacolo, successivamente consentire loro la risalita e, conseguentemente, il superamento dell'ostacolo stesso. Tutte le tipologie costruttive di passaggi per pesci conosciute adempiono chiaramente allo scopo, ma talune soluzioni risultano più funzionali di altre, in relazione a condizioni ed esigenze spesso associate a fattori esterni.

E' necessario quindi illustrare sinteticamente le macro - categorie di passaggi per pesci adottabili, per mitigare una discontinuità fluviale, al fine di rendere chiaro il panorama delle soluzioni tecniche tra le quali individuare la migliore da adottare nel progetto specifico.

Di seguito sono riportate quindi le descrizioni per passaggi a bacini successivi, passaggi per anguille, scale a rallentamento di tipo Denil, rapide artificiali o rampe per pesci, chiuse per pesci, ascensori per pesci, passaggi in condotte.

Mediante l'ausilio di rappresentazioni, vengono descritte le caratteristiche peculiari di ognuna, anticipando già un'importante considerazione, che semplifica notevolmente il quadro delle scelte: stante il quadro di deframmentazione costruito e valutato nel presente lavoro per il territorio della Regione Lombardia, è possibile concludere che i passaggi a bacini successivi, le rapide artificiali o rampe per pesci ed i passaggi in condotte rappresentano le tipologie più idonee e raccomandate

per intervenire in direzione di una deframmentazione del corridoio ecologico acquatico lombardo. Le principali motivazioni che hanno portato a questa prima semplificazione e predilezione sono così riassumibili (Larinier & Marmulla, 2003; FAO/DVWK, 2002; AA.VV., 1995):

- I passaggi dedicati esclusivamente alle anguille sono superflui e ampiamente sostituiti nei casi di realizzazione corretta delle tre tipologie realizzative indicate (passaggi a bacini successivi, rapide artificiali e passaggi in condotte). L'esperienza ha mostrato un'ottima funzionalità di dette tre tipologie, anche in relazione alle anguille di tutte le taglie. Questi specifici passaggi mantengono quindi un adeguato interesse nella situazione lombarda solo nei casi in cui, a fronte di deframmentazioni importanti (ad esempio dighe oltre i 20 m di salto idraulico), la popolazione di detta specie sia prioritaria rispetto ad altre e l'impegno di spesa per la realizzazione di un'opera, che permetta la risalita anche di altre specie, sia troppo costosa rispetto alla sola progettazione ed installazione di soluzioni per anguille.
- Le scale a rallentamento di tipo Denil, per la maggior parte dei casi, permettono la sola risalita di pesci aventi spiccate capacità natatorie, escludendo molte delle specie presenti nel corso d'acqua. Inoltre, l'impegno di spesa e le difficoltà realizzative, soprattutto in presenza di sbarramenti esistenti, sono paragonabili a quelle dei passaggi a bacini successivi. L'interesse verso questa tipologia rimane valido, quindi, solo nei casi in cui vi sia un reale e vincolante problema di spazi, permettendo queste realizzazioni, a fronte di una potenziale risalita dedicata solo ad alcune specie ittiche, il mantenimento di più elevate pendenze realizzative e quindi minori ingombri spazio – planimetrici di progetto e realizzazione.
- Le chiuse richiedono interventi strutturali massicci e un'accurata gestione e manutenzione, con difficoltà realizzative spesso insormontabili nel caso di strutture esistenti. Tale soluzione spesso è prevedibile solo in casi di adattamento di strutture analoghe (ad esempio conche di navigazione), che tuttavia, in quanto intrinsecamente rappresentanti un ripiego, spesso devono affrontare problematiche e scelte riadattative che non giustificano poi, nella reale funzionalità, tale particolare scelta.
- Gli ascensori sono adatti per superare dislivelli maggiori (indicativamente superiori ai 20 m di salto), che spesso giustificano l'esclusione di tutte le altre tipologie di passaggi artificiali potenzialmente realizzabili.

Nel proseguo della trattazione verranno quindi sviluppate le considerazioni sulle varie tipologie di passaggi artificiali per pesci, entrando nei dettagli tecnici di progettazione unicamente per le tre tipologie di passaggi indicate come le più funzionali per il territorio regionale: passaggi a bacini successivi; rapide artificiali o rampe per pesci; passaggi in condotte.

7.3.4.3.1 Passaggio a bacini successivi

La progettazione di un passaggio artificiale a bacini successivi è forse la soluzione tecnica più complessa a livello di progettazione.

Tuttavia, i manuali oggi disponibili sono talmente dettagliati (per citare i primi e originali: Larinier *et al.*, 2002; FAO/DVWK, 2002) da riuscire a guidare il progettista nelle scelte progettuali per il dimensionamento che, se rispettate, offrono una garanzia elevata di successo.

In Lombardia, il maggior numero di passaggi per pesci realizzati rientra probabilmente proprio in questa tipologia e, tra questi, i passaggi realmente funzionanti costituiscono la stragrande maggioranza del complesso dei passaggi per pesci funzionanti, indipendentemente dalla tipologia, fino ad oggi realizzati nel territorio regionale.

Caratteristiche e dimensionamento

La progettazione di un passaggio a bacini successivi richiede un percorso logico-analitico strutturato in più fasi:

1. Definizione del dislivello tra due bacini contigui in base alla comunità ittica.
2. Determinazione dei livelli di monte e di valle di riferimento e del numero di bacini.
3. Scelta della modalità di comunicazione idraulica tra i bacini.
4. Parametri dimensionali vincolanti per una corretta dissipazione della potenza.

5. Portate transittanti nel passaggio artificiale.
6. Verifica di funzionamento in condizioni estreme di livello (di monte e di valle).

1. *Definizione del dislivello tra due bacini contigui in base alla comunità ittica*

Dato per assodato che un salto idraulico generato da una discontinuità, per poter essere superato dall'ittiofauna, deve essere compatibile con le capacità degli utenti cui è indirizzata l'opera, il primo passaggio progettuale è quello di suddividere il salto complessivo in singole unità (salto tra un bacino ed il successivo) minori, in relazione alle informazioni raccolte sulle capacità natatorie dei pesci target. Il passaggio dei pesci sarà tanto più facilitato quanto minore risulterà il dislivello ΔH tra due bacini; tuttavia la sua minimizzazione non dovrà rendere eccessivamente lunga l'opera.

In via approssimativa, la massima velocità determinata dallo scalino ΔH è ricavabile dalla relazione:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

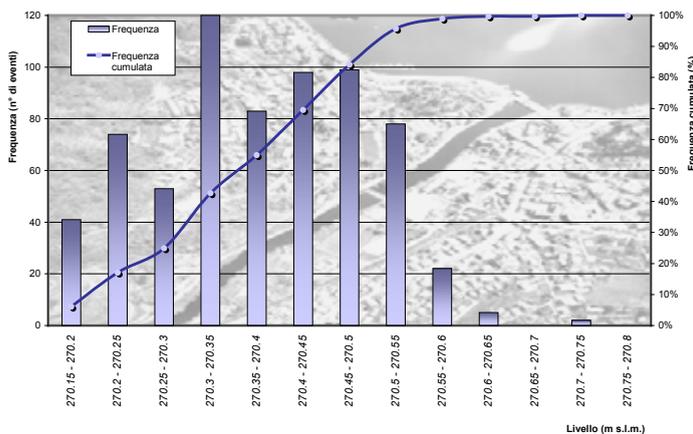
in cui g rappresenta l'accelerazione di gravità ($9,81 \text{ m/s}^2$). I valori determinabili dovranno essere compatibili con le capacità natatorie dei pesci (funzione della taglia e della temperatura dell'acqua) e il dislivello dovrà essere compatibile con le capacità di nuoto delle specie target.

2. *Determinazione dei livelli di monte e di valle di riferimento e del numero di bacini*

La scelta dei livelli idrici, da adottarsi nella progettazione del passaggio per pesci, richiede un'analisi accurata e rappresenta l'aspetto più importante. I risultati dell'analisi devono determinare i range di fluttuazione dei livelli di monte e di valle alla discontinuità dei peli liberi per l'anno medio. Tale range deve coprire gli eventi compresi almeno tra il 25° ed il 75° percentile di tutti gli eventi e comunque essere determinato per ricomprendere i livelli corrispondenti ai periodi di mobilità riproduttiva ma anche trofica delle specie ittiche individuate target. La definizione di idonei valori di riferimento permette il corretto funzionamento del passaggio per la maggior parte dell'anno, evitando per esempio:

- la formazione di eccessivi dislivelli idrici tra i bacini;
- la messa in asciutta del passaggio o una riduzione significativa della portata transittante;
- la formazione di discontinuità insormontabili per i pesci (si può creare un eccessivo salto a valle).

Il metodo più semplice per adottare i livelli di riferimento è quello di raccogliere i dati disponibili dei livelli stessi a monte ed a valle degli sbarramenti; poi, attraverso delle elaborazioni statistiche, determinare i valori corretti del range progettuale verificandolo secondariamente, nei casi limitanti, per i periodi ideali di funzionamento del passaggio, in base alla mobilità temporale delle specie ittiche target. La prima analisi statistica può essere effettuata sui livelli giornalieri registrati negli ultimi anni (iniziando con il caso di monte ad esempio). Trattandosi di dati giornalieri, i valori registrati andranno suddivisi in classi di frequenza (ad esempio di ampiezza pari a 5 cm).

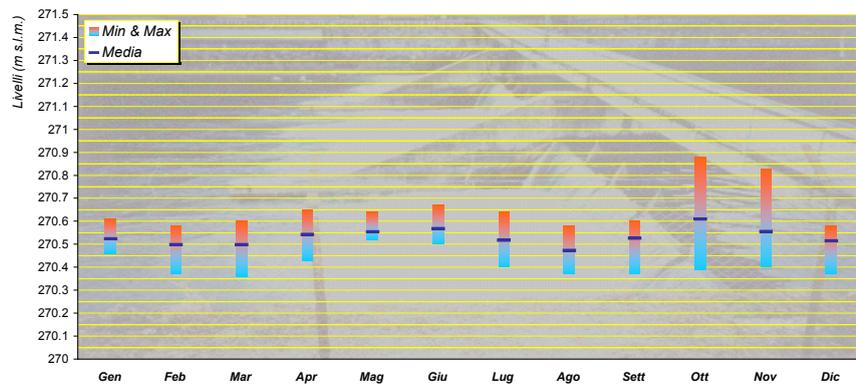


Analisi statistica dei livelli giornalieri del Lago di Lugano relativi agli anni 2003-2004 per lo sbarramento di regolazione in Comune di Ponte Tresa. Lago di Lugano – Fiume Tresa. Fonte archivio G.R.A.I.A. S.r.l.

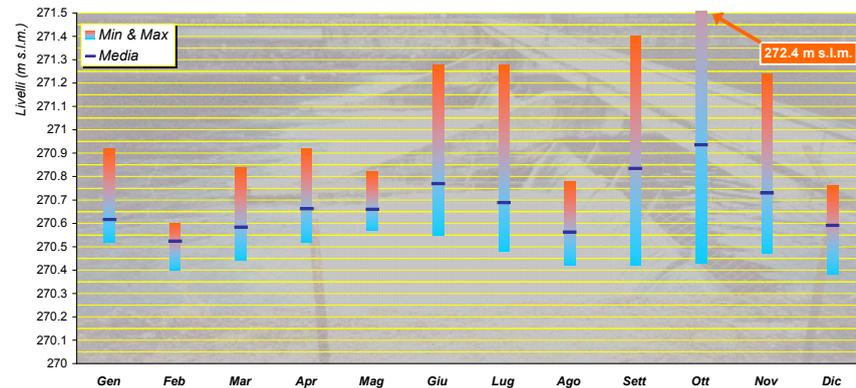
Dal grafico di esempio si osserva che nel 95% dei casi il livello di monte è compreso tra 270,15 m s.l.m. e 270,55 m s.l.m. Dall'analisi statistica emerge che il 25° percentile è pari a 270,30 m s.l.m., mentre il 75° percentile è pari a 270,45 m s.l.m.

Tale determinazione va quindi verificata, soprattutto nei casi di range di funzionamento in termini percentuali inferiori rispetto al caso d'esame, con l'andamento temporale medio, massimo e minimo degli eventi, costruito su di un range temporale ampio su scala mensile, sia per verificare la veridicità della statistica precedente (generata sugli ultimi anni), che per garantire l'individuazione di range compatibili con i periodi di migrazione o spostamento trofico delle specie ittiche target.

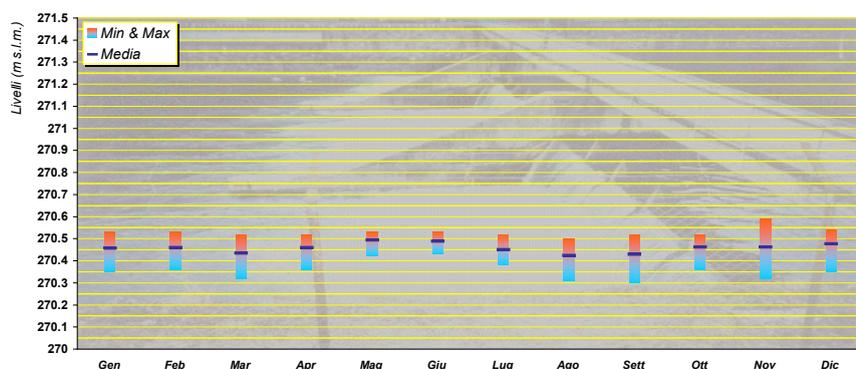
Analisi statistica dei livelli medi mensili del Lago di Lugano relativi al periodo 1990-2000.



Analisi statistica dei livelli massimi mensili del Lago di Lugano relativi al periodo 1990-2000.



Analisi statistica dei livelli minimi mensili del Lago di Lugano relativi al periodo 1990-2000.



Dai tre grafici riportati, si può osservare che il livello di monte subisce delle escursioni alquanto ridotte e si nota che il mese in cui il livello medio varia maggiormente è quello di ottobre. La media dei livelli medi mensili varia invece in un intervallo di circa 15 cm, il che significa che il livello di monte è mediamente stabile. La media su tutto il periodo considerato è pari a 270,50 m s.l.m.

Osservando invece i grafici relativi ai valori massimi mensili e minimi mensili, si nota che anche i valori estremi non si discostano molto dalle medie mensili. Per quanto riguarda i livelli massimi, ad eccezione di un picco raggiunto nell'ottobre del '93, negli 11 anni considerati non sono mai

stati registrati valori superiori a 271,40 m s.l.m. Guardando invece le medie dei valori massimi, si osserva che sono sempre inferiori a 271,00 m s.l.m. e che la media dei valori massimi è pari a 270,70. Per quanto riguarda i valori minimi, la variazione è ancora più contenuta. Nel periodo considerato, il valore minimo raggiunto è stato 270,30 m s.l.m. (settembre '91), mentre la media annua è dell'ordine di 270,40 m s.l.m. I mesi in cui i livelli massimi variano maggiormente sono giugno, luglio, settembre, ottobre e novembre. Il mese in cui i livelli minimi variano maggiormente è novembre.

In questo specifico caso il valore del range individuato con la prima elaborazione è pari a 270,30 – 270,45 m s.l.m. Con il controllo della seconda elaborazione su di una serie storica più ampia, i livelli di monte di progetto hanno un valore medio di 270,50 m s.l.m., con verifica di funzionalità per un valore minimo di 270,40 e massimo di 270,70. Questo doppio controllo permette di individuare scostamenti dovuti a modifiche delle politiche di regolazione o mutazioni delle condizioni idrauliche storiche, garantendo una maggiore corrispondenza alle linee di tendenza evolutive.

Considerando, a titolo di esempio, che le specie target abbiano la maggiore mobilità compresa tra dicembre e febbraio (quindi non interessante i mesi con le fluttuazioni maggiori), è possibile ad esempio scegliere come valore di progetto un livello di monte pari a 270,50, verificando poi la funzionalità idraulica dell'opera per fluttuazioni che vanno da un minimo di 270,30 ad un massimo di 270,70 m s.l.m. Questa scelta determina un ampio funzionamento sull'intero periodo annuale e rappresenta un ottimo compromesso progettuale in risposta agli andamenti dei livelli di monte. Analogo ragionamento va chiaramente effettuato per i livelli di valle, dove tuttavia si deve porre maggiore accortezza, considerando cautelativamente anche una possibile evoluzione in abbassamento dell'alveo fluviale (spesso per fenomeni di erosione osservabili a valle delle discontinuità o per una minore disponibilità di dati), tendendo quindi a dare maggior importanza ai livelli minimi (per i quali una errata progettazione non permette il funzionamento dell'opera) rispetto a quelli massimi (che comunque rendono funzionale l'opera, semplicemente sommergendo l'ultimo o gli ultimi bacini).

Particolarmente utile per il dimensionamento di valle è la valutazione idraulica sulle portate rilasciate a valle dello sbarramento. Una statistica generata sui valori scaricati o lasciati transitare a valle della discontinuità, soprattutto in condizioni di derivazione idrica a scopi idroelettrici o irrigui, individua le condizioni minime operative, dà un'informazione sulla stabilità delle condizioni idrauliche e quindi sull'alveo di valle, evidenzia i periodi di maggiore criticità, oltre che aiutare nella localizzazione degli imbocchi delle opere stesse (da relazionarsi con le restanti quote di acqua rilasciate come ulteriore componente di DMV, previsto per quella specifica situazione contingente).



Esempio di progettazione cautelativa di un imbocco di valle. I livelli idrici reali sommergono gli ultimi bacini ma permettono un ottimo funzionamento dell'opera. Fiume Brembo in Comune di Villa d'Almè (BG).

Esempio di errata progettazione di un imbocco di valle. I livelli idrici reali sono più bassi di quanto considerato in progetto. Fiume Serio in comune di Nembro (Bg). Sbarramento in fase di adeguamento.



Stante l'importanza dell'analisi idraulica ai fini della determinazione dei corretti parametri progettuali, qualora non fossero disponibili dati statistici sufficientemente attendibili e completi, si dovrà prevedere un'apposita attività di campo per determinare i valori dei livelli di monte e dei livelli di valle.

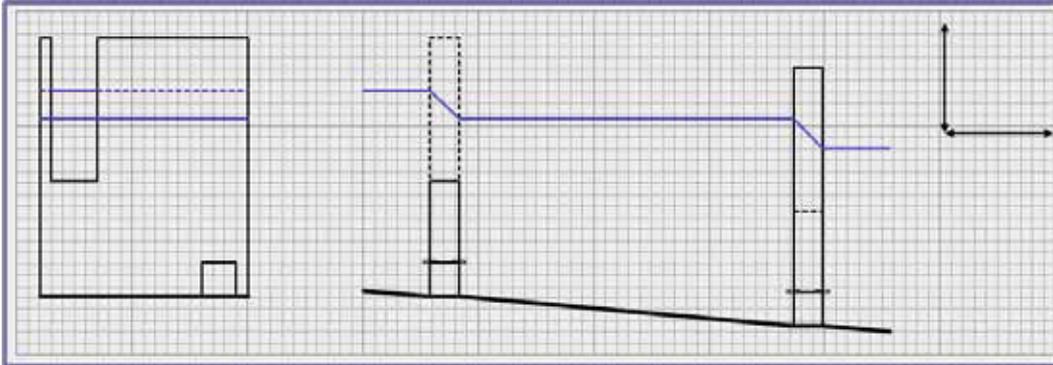
Una volta definiti il dislivello tra due bacini contigui e il salto complessivo, è possibile quindi determinare il numero di salti [N] ed il numero di bacini [N-1].

3. Scelta della modalità di comunicazione idraulica tra i bacini

Il collegamento tra un salto/bacino e l'altro può avvenire con modalità differenti. Soprattutto in passato sono stati spesso costruiti passaggi con bacini comunicanti attraverso salti (stramazzi), oppure attraverso uno scorrimento superficiale (stramazzo rigurgitato), oppure solo attraverso un orifizio di fondo. In realtà, l'esperienza ha dimostrato che la modalità di collegamento in assoluto preferibile, e dunque l'unica consigliata in questo contesto, è quella che prevede setti dotati di orifizio di fondo e fessura laterale, con solo stramazzo rigurgitato. Adottando tale soluzione, con orifizio di fondo e fessura laterale parzialmente rigurgitata, anche la determinazione del salto tra un bacino e l'altro diviene meno vincolante, permettendo di concentrarsi maggiormente su altri parametri di controllo. La scelta infatti di adottare un orifizio di fondo e la presenza di un carico d'acqua sulla fessura laterale oltre il dislivello dovuto al salto, permette una maggiore continuità idraulica. Nella fotografia seguente vi è la dimostrazione della validità della soluzione: si osservano esemplari di gardon (Ciprinidi comunque considerati a capacità natatoria e di salto ridotte) sorpassare una fessura laterale larga 0,40 m con un battente di 0,80 m, di cui 0,20 m di salto (dislivello idrico monte-valle), impiegando lo strato d'acqua al di sotto di questo.

Risalita dei pesci all'interno di un passaggio con setti di tipologia "mista". Passaggio realizzato sul Fiume Tresa a Lavagna Ponte Tresa (VA).





Schema grafico del setto di tipologia mista realizzato per il passaggio per pesci sul Fiume Tresa a Lavena Ponte Tresa (VA).

In merito alla modalità realizzativa dei setti separatori dei bacini successivi, per aumentare maggiormente la funzionalità dell'opera di deframmentazione, nell'immagine seguente si riporta un esempio realizzativo.

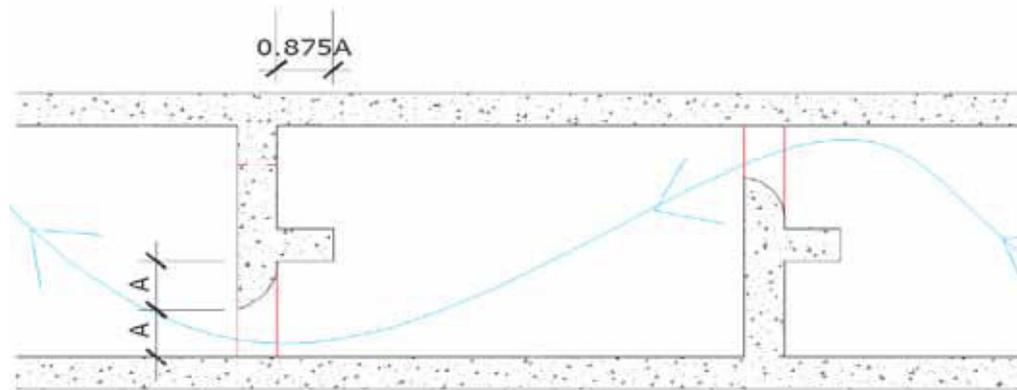


Esempio di setto di tipologia "mista" realizzato per il passaggio per pesci sullo sbarramento tra il Lago di Lugano ed il Fiume Tresa in comune di Lavena Ponte Tresa (VA). Sbarramento di regolazione del lago. Nell'immagine ad acqua ferma è apprezzabile la sedimentazione sul fondo che indica le zone a minore e maggiore velocità dell'acqua.



Tali esempi realizzativi possono essere considerati indicazioni di buona tecnica che aumentano, anche significativamente, la funzionalità del passaggio. In particolare, lo smusso degli spigoli evita o diminuisce un marcato distacco della lama d'acqua, che porta ad una compressione delle linee di corrente, riducendo anche del 75% la larghezza utile di passaggio nella fessura laterale con velocità compatibili alle capacità natatorie dei pesci (significative in questo senso le due immagini seguenti che documentano entrambi i casi). Il muretto perpendicolare al setto invece "taglia" ulteriormente i vortici, soprattutto superficiali, aumentando la dissipazione dell'energia. In questo caso, un esempio dimensionale può essere schematizzato nella figura seguente, ricavandolo dall'evidenza sperimentale applicata al monitoraggio funzionale del passaggio per pesci tra il Lago di Lugano ed il Fiume Tresa in Comune di Lavena Ponte Tresa (VA).

Schema grafico del passaggio.
Dettaglio planimetrico.



La composizione di queste tipologie realizzative permette di ottenere una soluzione completa che risponde a più esigenze.

Comparazione del comportamento idraulico di un setto normale e di un setto a "smusso". A sinistra: Fiume Serio in comune di Clusone (BG). Restringimento della vena d'acqua attraverso la fessura senza smusso.

A destra: Colatore Muzza snodo di Tripoli a Massalengo (BG), sbarramento Consorzio della Muzza. Corretto distacco della lama d'acqua attraverso la fessura con smusso.



4. Parametri dimensionali vincolanti per una corretta dissipazione della potenza

Una volta selezionati il dislivello tra i bacini ed il tipo di setti, occorre definire successivamente le dimensioni dei bacini e delle aperture che li collegano.

Le misure da adottarsi dipendono, oltre che dalla disponibilità idrica, dal tipo di pesci e dalle dimensioni degli stessi; inoltre esistono dei parametri di controllo che devono essere rispettati per rendere efficiente il passaggio.

Si riportano i principali vincoli da rispettare:

- la lunghezza di ogni singolo bacino deve essere superiore a 3 volte la lunghezza dei pesci di maggiori dimensioni;
- la larghezza delle fessure deve consentire il transito anche dei pesci di taglia maggiore; il range geometrico maggiormente utilizzato è compreso in larghezze di 0,3 – 0,4 metri; mentre per gli orifizi di fondo le dimensioni maggiormente applicate sono comprese tra 0,25 x 0,25 e 0,30 x 0,30.

- rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza bacino (B) compreso tra 1,6 e 1,8;
- rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza fessura (b) compreso tra 7 e 12;
- rapporto larghezza bacino (L)/larghezza fessura (b) compreso tra 4 e 6;
- rapporto battente sullo stramazzo laterale (H)/dislivello tra bacini (delta H) superiore a 2, nel caso di funzionamento del collegamento tra bacini attraverso flusso rigurgitato.
- pendenza complessiva del passaggio per pesci (misurata sui peli liberi di monte e valle) non superiore al 10 % ed eccezionalmente corrispondente a valori massimi del 15 %, se associata a bacini di riposo che non concorrono alla distribuzione del salto.

Il rispetto dei vincoli sopra elencati permette di definire le dimensioni ottimali dei bacini.

4. Portate transitanti nel passaggio artificiale

A questo punto, noti tutti i parametri di progetto, applicando le formule dell'idraulica, si determina la portata transitante attraverso le luci a battente (orifici di fondo) e le luci a stramazzo (fenditure laterali).

La formula per il calcolo della portata attraverso la luce a battente sommersa è:

$$Q = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

in cui:

S = sezione dell'orificio [m²];

C_d = coefficiente di contrazione: funzione della forma e del profilo dell'orificio.

La formula per il calcolo della portata attraverso lo stramazzo della fenditura laterale è:

$$Q = C_d \cdot b \cdot H_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

in cui:

C_d = coefficiente di contrazione laterale;

b = larghezza della fessura [m];

H₁ = è il carico sulla fessura [m].

L'ultima verifica da effettuare nel processo di dimensionamento è il calcolo della potenza specifica dissipata.

La difficoltà di risalita dei pesci aumenta con l'aumentare della turbolenza e dell'aerazione dei bacini; per questo motivo è stato adottato per la progettazione, come indicatore di efficienza di un passaggio a bacini, la potenza dissipata per unità di volume espressa dalla formula:

$$P_v = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{V_a}$$

in cui:

P_v = potenza dissipata per unità di volume [W/m³];

ρ = densità dell'acqua = 1000 [kg/m³];

Q = portata d'acqua [m³/s];

V_a = volume d'acqua nel bacino [m³].

Per i salmonidi si consiglia di non superare i 200 W/m³, mentre il limite scende a 150 W/m³ per i ciprinidi. L'adozione di valori inferiori garantisce anche la risalita di pesci di piccola taglia, indipendentemente dalla specie e, pertanto, soprattutto nei casi in cui non sono sufficientemente note informazioni dettagliate circa la comunità ittica, è consigliabile rimanere sempre entro valori al di sotto dei 150 W/m³.

5. Verifica di funzionamento in condizioni estreme di livello (di monte e di valle)

Dopo avere dimensionato il passaggio per i livelli di progetto e fissati i livelli estremi di funzionamento, bisogna dunque verificare che il passaggio funzioni anche in condizioni limite (valori minimi e

massimi dei livelli idraulici di monte e di valle determinati); se questo non avviene, è necessario modificare le caratteristiche idrauliche del passaggio (e non i livelli di progetto), fino a quando è garantito il funzionamento anche in condizioni prossime a quelle limite.

Il procedimento da applicare è di tipo iterativo e rappresenta una verifica molto importante per il futuro riscontro funzionale continuativo delle opere di cui si sta sviluppando il progetto.

Nelle grafiche seguenti l'esempio di un progetto tipo.

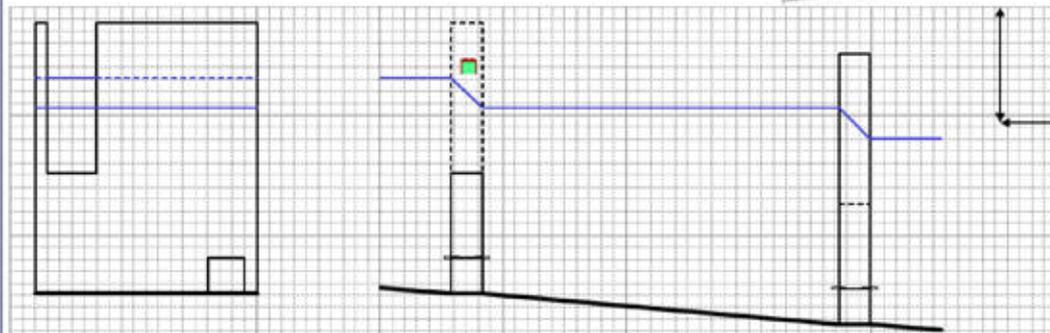
Gli obiettivi di progetto, in relazione alla funzionalità dell'opera, prevede la verifica di funzionalità della soluzione anche per altre due condizioni idrauliche: livello di monte 83,90 m s.l.m. e livello di valle 79,00 m s.l.m. (condizione massima) e livello di monte 83,20 m s.l.m. e livello di valle 78,66 m s.l.m. (condizione minima).

| PASSAGGIO PER PESCI A BACINI SUCCESSIVI | | | |
|--|--------------------|--------------|-----------------|
| CONDIZIONI AL CONTORNO | | | |
| LIVELLO ACQUA DI PROGETTO ALVEO DI MONTE | HM-P | 83,55 | <i>M S.L.M</i> |
| LIVELLO ACQUA DI PROGETTO ALVEO DI VALLE | HV-P | 78,66 | <i>M S.L.M</i> |
| VINCOLI IMPOSTI | | | |
| SALTO TRA SOGLIE FESSURE LATERALI SETTI BACINI | DH | 0,257 | <i>M</i> |
| QUOTA SOGLIA FESSURA LATERALE PRIMO SETTO | | 82,75 | <i>M S.L.M.</i> |
| DIMENSIONAMENTO BACINI | | | |
| <i>DIMENSIONI STANDARD MINIME PER OGNI BACINO</i> | | | |
| LUNGHEZZA INTERNA UTILE | L | 2,90 | <i>M</i> |
| LARGHEZZA INTERNA UTILE | B | 1,80 | <i>M</i> |
| DIMENSIONAMENTO SETTI | | | |
| SPESORE MURATURA | S | 0,25 | <i>M</i> |
| ALTEZZA MASSIMA | H | 2,25 | <i>M</i> |
| DIMENSIONAMENTO FESSURA LATERALE CON STRAMAZZO PARZIALMENTE RIGURGITATO | | | |
| PROFONDITA' FESSURA LATERALE DALLA SOMMITA' DEL SETTO | H-P | 1,25 | <i>M</i> |
| LARGHEZZA FESSURA LATERALE | B | 0,40 | <i>M</i> |
| DIMENSIONAMENTO FORO DI FONDO CON LUCE A BATTENTE | | | |
| ALTEZZA FORO DI FONDO | H' | 0,30 | <i>M</i> |
| LARGHEZZA FORO DI FONDO | L' | 0,30 | <i>M</i> |
| DIMENSIONAMENTO PARATOIE | | | |
| <i>PARATOIA DI CHIUSURA PER INTERVENTI DI MANUTENZIONE</i> | | | |
| NUMERO | N _p | 1 | <i>M</i> |
| SPESORE COMPLESSIVO | S _p | 0,25 | <i>M</i> |
| LARGHEZZA UTILE LUCE | B _p | 1,80 | <i>M</i> |
| ALTEZZA UTILE LUCE | H _{p-MAX} | 2,00 | <i>M</i> |
| ALTEZZA STRUTTURA COMPLESSIVA | H' _p | 4,50 | <i>M</i> |

| RIEPILOGO VARIABILI DI PROGETTO | | |
|--|--------|----------------|
| LIVELLO ACQUA DI PROGETTO ALVEO DI MONTE | 83,55 | <i>M S.L.M</i> |
| LIVELLO ACQUA DI PROGETTO ALVEO DI VALLE | 78,66 | <i>M S.L.M</i> |
| SALTO COMPLESSIVO DA DISTRIBUIRE | 4,89 | <i>M</i> |
| NUMERO DI SALTI (18 BACINI PIÙ RACCORDI MONTE E VALLE) | 19 | |
| DISTRIBUZIONE REALE DISLIVELLO PER SALTO | 0,2573 | <i>M</i> |
| LUNGHEZZA REALE ESCLUSI SPESSORI SETTI | 56,95 | <i>M</i> |
| PENDENZA MEDIA | 8,6% | |

PARAMETRI DI CONTROLLO FUNZIONAMENTO IDRAULICO

| | | | |
|---------------------------------|-----|--|--|
| LUNGHEZZA DEL BACINO | L | | |
| LARGHEZZA DEL BACINO | B | | |
| SPESSORE DEL SETTO | S | | |
| ALTEZZA MASSIMA DL SETTO | H | | |
| DISTANZA FESSURA LATERALE FONDO | P | | |
| PROFONDITA' FESSURA LATERALE | H-P | | |
| LARGHEZZA FESSURA LATERALE | B | | |
| ALTEZZA FORO DI FONDO | H' | | |
| LARGHEZZA FORO DI FONDO | L' | | |
| PROFONDITA' MEDIA DELL'ACQUA | TM | | |



DIMENSIONI BACINI [M]

DIMENSIONI SETTI SEPARATORI [M]

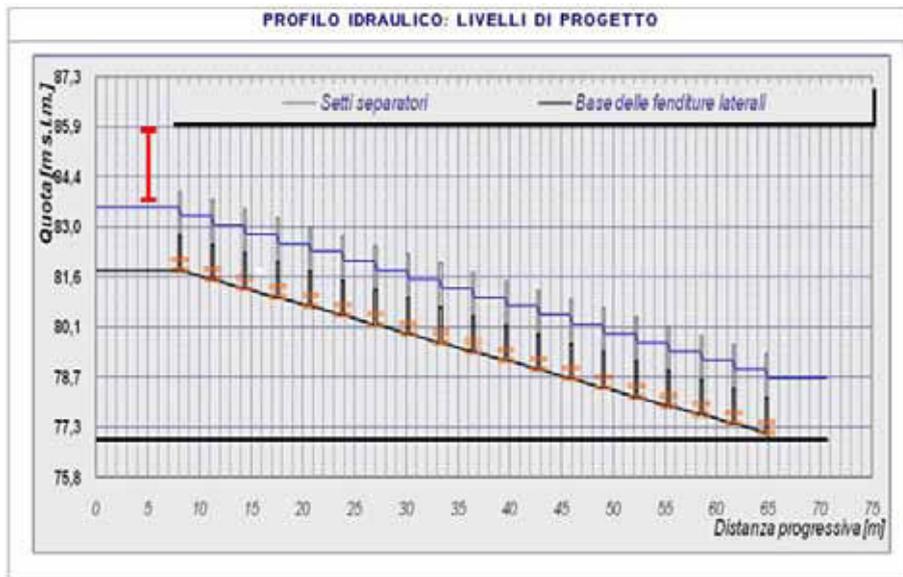
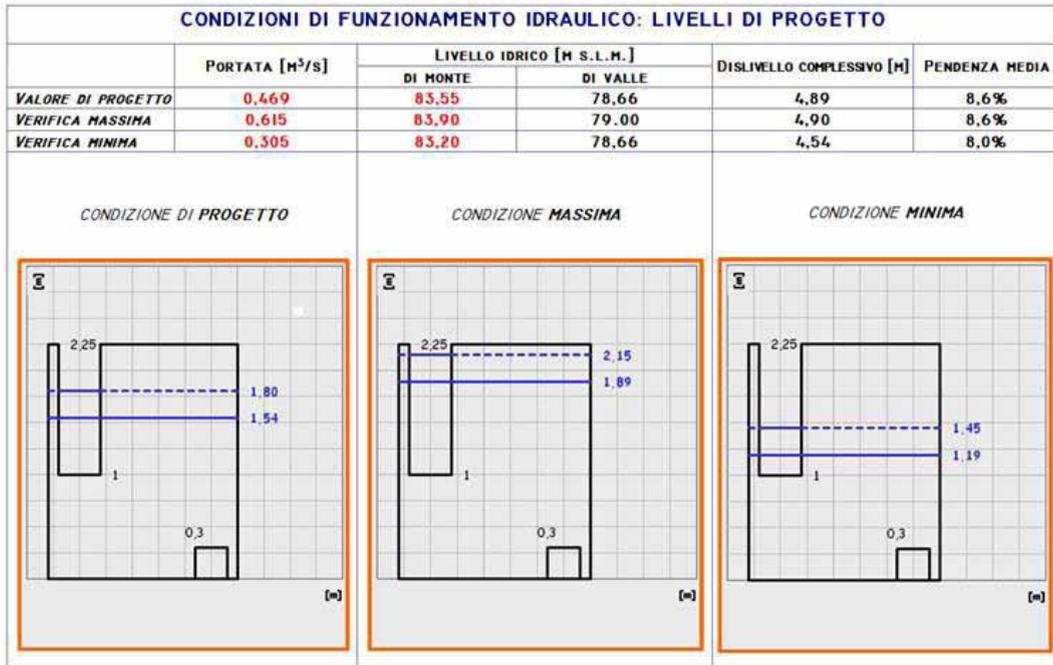
| PROGRESSIVO | L | B | PROGRESSIVO | S | H | P | H-P | B | H' | L' |
|-------------|-----|-----|-----------------|------|------|---|------|-----|-----|-----|
| 0 | 2,9 | 1,8 | SETTO 0-1 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 1 | 2,9 | 1,8 | SETTO 1-2 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 2 | 2,9 | 1,8 | SETTO 2-3 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 3 | 2,9 | 1,8 | SETTO 3-4 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 4 | 2,9 | 1,8 | SETTO 4-5 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 5 | 2,9 | 1,8 | SETTO 5-6 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 6 | 2,9 | 1,8 | SETTO 6-7 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 7 | 2,9 | 1,8 | SETTO 7-8 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 8 | 2,9 | 1,8 | SETTO 8-9 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 9 | 2,9 | 1,8 | SETTO 9-10 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 10 | 2,9 | 1,8 | SETTO 10-11 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 11 | 2,9 | 1,8 | SETTO 11-12 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 12 | 2,9 | 1,8 | SETTO 12-13 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 13 | 2,9 | 1,8 | SETTO 13-14 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 14 | 2,9 | 1,8 | SETTO 14-15 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 15 | 2,9 | 1,8 | SETTO 15-16 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 16 | 2,9 | 1,8 | SETTO 16-17 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 17 | 2,9 | 1,8 | SETTO 17-18 | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 18 | 2,9 | 1,8 | SETTO 18- FIUME | 0,25 | 2,25 | 1 | 1,25 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |

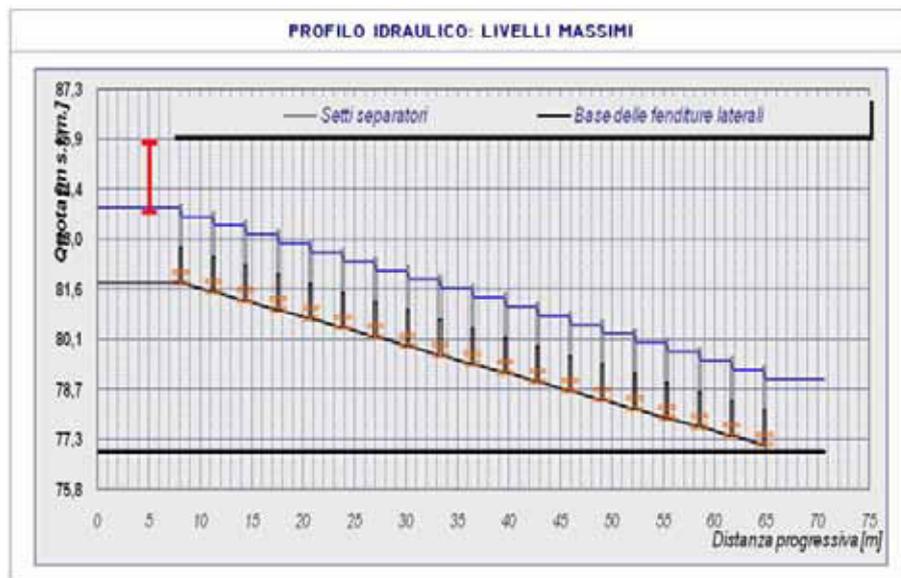
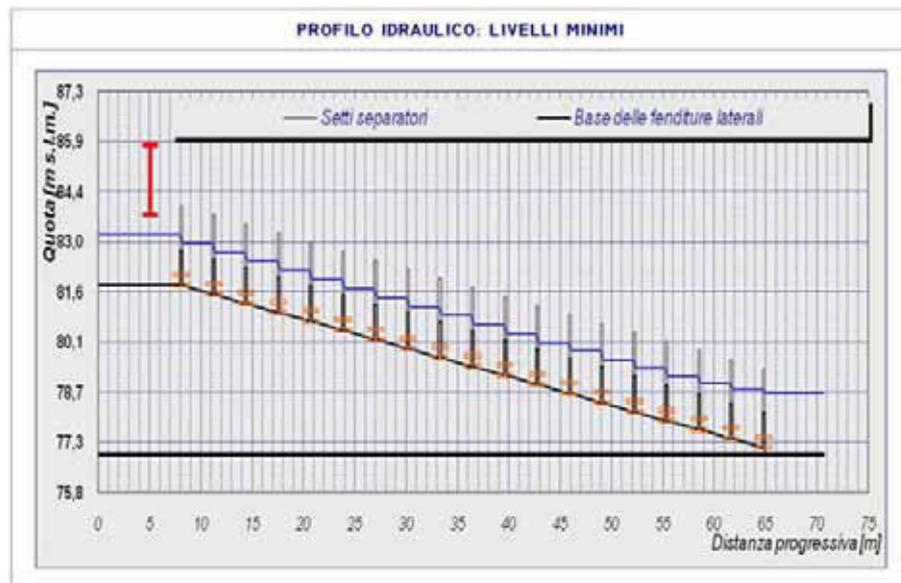
| PARAMETRO | VALORI CONSIGLIATI | | VALORI RISCONTRATI | | |
|---|--------------------|-----------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | SALMONIDI | CIPRINIDI | MEDIA | MASSIMO | MINIMO |
| POTENZA SPECIFICA DISSIPATA BACINI [W/M ³] | < 200 | < 150 | 128,08 | 135,85 <i>BACINO 2</i> | 0 <i>BACINO 1</i> |
| VELOCITA' IN CORRISPONDENZA DELL'APERTURA NEL SETTO [M/S] | | CIRCA 2 | 2,25 | 2,25 <i>SETTO 0-1</i> | 2,25 <i>SETTO 18-FIUME</i> |
| RAPPORTO H/DH (FLUSSO RIGURGITATO) | | >2 | 3,11 | 3,11 <i>SETTO 18-FIUME</i> | 3,11 <i>SETTO 0-1</i> |
| RAPPORTO L/B | | 1,6-1,8 | 1,61 | 1,61 <i>BACINO 0</i> | 1,61 <i>BACINO 0</i> |
| RAPPORTO L/B CONSIGLIATO | | 7-12 | 7,25 | 7,25 <i>BACINO 0</i> | 7,25 <i>BACINO 0</i> |
| RAPPORTO B/B CONSIGLIATO | | 4-6 | 4,50 | 4,50 <i>BACINO 0</i> | 4,50 <i>BACINO 0</i> |

| PARAMETRO | VALORI CONSIGLIATI | | VALORI RISCONTRATI | | |
|---|--------------------|-----------|--------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | SALMONIDI | CIPRINIDI | MEDIA | MASSIMO | MINIMO |
| POTENZA SPECIFICA DISSIPATA BACINI [W/M ³] | < 200 | < 150 | 139,28 | 148,51 <i>BACINO 18</i> | 0 <i>BACINO 1</i> |
| VELOCITA' IN CORRISPONDENZA DELL'APERTURA NEL SETTO [M/S] | | CIRCA 2 | 2,25 | 2,25 <i>SETTO 18-FIUME</i> | 2,25 <i>SETTO 0-1</i> |
| RAPPORTO H/DH (FLUSSO RIGURGITATO) | | >2 | 4,44 | 4,45 <i>SETTO 18-FIUME</i> | 4,41 <i>SETTO 0-1</i> |
| RAPPORTO L/B | | 1,6-1,8 | 1,61 | 1,61 <i>BACINO 0</i> | 1,61 <i>BACINO 0</i> |
| RAPPORTO L/B CONSIGLIATO | | 7-12 | 7,25 | 7,25 <i>BACINO 0</i> | 7,25 <i>BACINO 0</i> |
| RAPPORTO B/B CONSIGLIATO | | 4-6 | 4,50 | 4,50 <i>BACINO 0</i> | 4,50 <i>BACINO 0</i> |

PARAMETRI DI CONTROLLO IDRAULICO CONDIZIONE MINIMA

| PARAMETRO | VALORI CONSIGLIATI | | VALORI RISCONTRATI | | |
|---|--------------------|-----------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | SALMONIDI | CIPRINIDI | MEDIA | MASSIMO | MINIMO |
| POTENZA SPECIFICA DISSIPATA BACINI [W/M ³] | < 200 | < 150 | 98,22 | 111,77 <i>BACINO 2</i> | 0 <i>BACINO 1</i> |
| VELOCITA' IN CORRISPONDENZA DELL'APERTURA NEL SETTO [M/S] | | CIRCA 2 | 2,16 | 2,25 <i>SETTO 0-1</i> | 1,64 <i>SETTO 18-FIUME</i> |
| RAPPORTO H/DH (FLUSSO RIGURGITATO) | | >2 | 2,11 | 4,96 <i>SETTO 18-FIUME</i> | 1,75 <i>SETTO 0-1</i> |
| RAPPORTO L/B | | 1,6-1,8 | 1,61 | 1,61 <i>BACINO 0</i> | 1,61 <i>BACINO 0</i> |
| RAPPORTO L/B CONSIGLIATO | | 7-12 | 7,25 | 7,25 <i>BACINO 0</i> | 7,25 <i>BACINO 0</i> |
| RAPPORTO B/B CONSIGLIATO | | 4-6 | 4,50 | 4,50 <i>BACINO 0</i> | 4,50 <i>BACINO 0</i> |





Imbocco di monte con paratoia manuale e camminamento per manutenzione passaggio artificiale per pesci a bacini successivi. Fiume Adda in comune di Capriate San Gervasio (BG).



Vantaggi e svantaggi di questo tipo di passaggio

I passaggi a bacini successivi sono tra i più vecchi passaggi per pesci ideati e da tempo dimostrano la propria funzionalità.

Il primo grande vantaggio nell'impiego di questo tipo di passaggio risiede nell'aspecificità: è infatti possibile, come è stato visto, progettare passaggi a bacini successivi che siano adatti al transito di qualsivoglia specie e stadio vitale, indipendentemente da taglia, resistenza, capacità di nuoto.

Un altro vantaggio è offerto dal fatto che, a conti fatti, questo tipo di passaggi per pesci necessita di portate relativamente ridotte per funzionare (nella maggior parte dei casi comprese tra 0,2 e 0,5 m³/s).

D'altra parte, questo tipo di passaggio necessita di una manutenzione piuttosto frequente, dovuta al fatto che gli orifizi sono suscettibili di ostruzione da parte dei detriti trasportati a valle e la struttura stessa (in particolare i setti) è suscettibile di rottura o ammassamento. L'esperienza comunque dimostra che una corretta progettazione di queste tipologie di passaggi garantisce un ottimo funzionamento ed una manutenzione contenuta. Resta vero che in alcune situazioni in cui il trasporto solido è una caratteristica peculiare del corso d'acqua, per la posizione geografica, per il clima, per le caratteristiche idrogeologiche e di copertura vegetale del bacino sotteso, il problema deve essere analizzato approfonditamente e devono essere, nel caso, vagliati e adottati accorgimenti particolari, oppure soluzioni alternative a questo tipo di passaggio.

Un ulteriore elemento a sfavore dei passaggi a bacini successivi può consistere nel fatto che essi richiedono più spazio rispetto ad altri passaggi tecnici, perchè piuttosto larghi e con pendenze generalmente del 7-8 %.

Raccomandazioni, accorgimenti e soluzioni migliorative

I punti di maggiore criticità per questo tipo di passaggio risiedono sostanzialmente nella suscettibilità all'intasamento e agli altri effetti possibili connessi con il trasporto solido, come ammassature o rotture. In questo senso, un sistema efficace per consentire una rapida pulizia e manutenzione del passaggio a bacini successivi è la predisposizione e installazione di sistemi di chiusura dell'ingresso d'acqua da monte nel passaggio, che permettono così di operare all'asciutto.

Un'altra soluzione progettuale interessante, che può contribuire a rafforzare la struttura nei confronti del trasporto solido, consiste nella possibilità di realizzare un passaggio a bacini successivi utilizzando anche massi naturali (ovviamente tagliati secondo le esigenze geometriche del progetto): i massi infatti sono più resistenti del calcestruzzo, sia ai colpi inferti dal materiale sospeso fluitato, sia all'azione abrasiva dell'acqua. Per questo, in molti casi, è sempre più frequente l'utilizzo di massi nella creazione dei setti tra i bacini successivi. Si sottolinea peraltro la migliore resa estetica di un passaggio a bacini successivi realizzato utilizzando i massi, che possono anche essere impiegati nella copertura della struttura in cemento, conferendole il migliore inserimento paesaggistico. Un ulteriore elemento a favore di questa soluzione realizzativa risiede anche nel fatto che utilizzare i massi come setti di separazione tra bacini richiede molto meno lavoro, che non realizzare i setti con cls.



Esempio di realizzazione di un passaggio per pesci a bacini successivi in pietra e massi. Torrente Maggia a Ponte Brolla, Canton Ticino (Svizzera).

(Foto: Tiziano Putelli)

Esiste anche una serie di soluzioni tecniche di finitura dell'opera che possono essere adottate per esigenze specifiche, per esempio per la gestione e la manutenzione del passaggio.

Per permettere, ad esempio, una corretta attività di manutenzione, in testa al passaggio artificiale potrà essere posta una paratoia di tenuta sui tre lati. Tale dispositivo avrà l'unica funzione di poter permettere l'asciutta completa e l'isolamento idraulico del passaggio e dunque le operazioni di ispezione e manutenzione idonee al mantenimento della più alta funzionalità possibile. Tale paratoia, in fase di esercizio, dovrà essere completamente aperta e non dovrà interferire in modo alcuno con il funzionamento idraulico delle opere di progetto, con particolare attenzione all'esigenza di non creare perdite di carico all'inizio del passaggio per pesci.

Sopra al passaggio potrà poi essere realizzato un camminamento, eventualmente parziale, da utilizzare per le operazioni di pulizia e manutenzione dei setti e dei bacini. Tale soluzione potrà essere integrata con gli accessi esistenti, prevedendo idonei dispositivi di protezione compatibili con le lavorazioni da eseguirsi sulle opere.

Sarà infine possibile, nei casi di vicinanza degli imbocchi di monte con opere di derivazione idrica, prevedere misure ed accorgimenti per la salvaguardia della discesa della fauna ittica: ad esempio griglie di protezione dell'imbocco di monte dei canali e delle eventuali centraline, con particolare riferimento all'interasse tra le maglie (fessura grigliato) e alla distanza del centro bocca rispetto al centro asse del passaggio per pesci.

Esempi realizzativi di passaggi artificiali per pesci a bacini successivi.

A sinistra: passaggio sul Fiume Adda a Trezzo sull'Adda (BG) - Capriate San Gervasio (BG).

A destra: passaggio sul Fiume Brembo a Villa d'Almè (BG).



A sinistra: passaggio sul Fiume Ticino a Somma Lombardo (VA).

A destra: passaggio sul Fiume Tresa a Lavena Ponte Tresa (VA).





A sinistra: passaggio sul Fiume Serio a Clusone (BG).

A destra: passaggio sul Fiume Oglio a Tagliuno (BG).



A sinistra: passaggio sul Fiume Oglio a Tagliuno (BG).

A destra: passaggio sul Fiume Serio a Parre (BG).



Esempi di passaggi non funzionanti o male funzionanti.

A sinistra: passaggio sul Fiume Serio ad Ardesio (BG).

A destra: passaggio sul Torrente Vertova (BG).

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN PASSAGGIO A BACINI SUCCESSIVI SUL FIUME TRESA A LAVENA PONTE TRESA (VA)

Titolo del lavoro: Realizzazione di un passaggio artificiale per pesci presso lo sbarramento di incile tra il Lago di Lugano e il Fiume Tresa

Committente: Repubblica e Cantone Ticino (Svizzera) - Ufficio della caccia e della pesca, Provincia di Varese, Comune di Ponte Tresa

Progettisti: GRAIA srl

Anno di progettazione: 2005

Anno di realizzazione: 2006-2007

Nell'ambito del progetto Interreg IIIA "Conservazione e ripopolamento della Trota marmorata nel bacino idrografico del Fiume Ticino" condotto in qualità di capofila dalla Provincia di Varese, con la collaborazione di numerosi partner tra cui province e parchi lombardi e piemontesi territorialmente compresi entro il bacino idrografico del Fiume Ticino sublacuale, una delle azioni previste ha riguardato l'avvio delle opere di deframmentazione del corridoio acquatico di collegamento fra il Verbano ed il Ceresio: ciò attraverso la realizzazione di un passaggio artificiale per pesci presso lo sbarramento all'incile tra il Lago di Lugano e il Fiume Tresa.

A seguito delle indagini e degli approfondimenti compiuti su fauna ittica, area di intervento e condizioni idrauliche, è stato progettato e realizzato un passaggio a bacini successivi.

AREA DI PROGETTO

L'area di interesse è quella della diga di Ponte Tresa, posizionata poche decine di metri a valle del Lago di Lugano con lo scopo di regolarne i livelli; qui il Fiume Tresa delimita il territorio



italiano da quello svizzero e il passaggio dell'acqua avviene per tracimazione dello sbarramento, generando un salto di 2 m, invalicabile dai pesci.

La larghezza complessiva dell'opera è di circa 45 m.

La regolazione dei livelli avviene per mezzo di tre paratoie mobili, attraverso le quali è possibile regolare la quantità di acqua che defluisce verso valle. In generale, l'ente gestore (Dipartimento del Territorio del Canton Ticino - Ufficio dei corsi d'acqua (Bellinzona)) tende a mantenere il livello del lago stabile, all'interno di un range compreso tra 270,40 m s.l.m. e 270,50 m s.l.m.

Nella gestione dello sbarramento si tiene chiaramente conto anche della portata minima da rilasciare a valle nel Fiume Tresa (4 m³/s).

L'alveo fluviale, sia a valle che a monte dell'area di intervento, è contenuto da opere murarie.

Diga di Ponte Tresa



OBIETTIVI

Obiettivo del progetto era il ripristino della libera percorribilità da e verso il Lago di Lugano da parte dei pesci.

PROGETTAZIONE

Nel Settembre 2002 la Provincia di Varese (Settore Politiche per l'Agricoltura e Gestione Faunistica) aveva predisposto un Progetto Preliminare per la realizzazione di un passaggio per pesci presso lo sbarramento in oggetto. Tale progetto preliminare, redatto dalla GRAIA srl, aveva individuato la soluzione progettuale più opportuna, fornendo le basi per la successiva progettazione definitiva del manufatto.

Il passaggio artificiale per pesci è costituito da una serie di bacini in cascata che, a monte e a valle, vengono raccordati con l'alveo fluviale. L'ingombro dell'opera è pari a circa 33 metri di lunghezza; la larghezza è variabile in funzione della forma del muro di sponda esistente ed è compresa comunque tra i 2,5 e i 3 metri circa.

Per realizzare il passaggio artificiale è stato necessario effettuare uno scavo di una profondità variabile tra 4 metri (a monte) e 6 metri (a valle). In particolare, la quota del piano campagna nell'area di intervento è pari a 272,50 m s.l.m. e la base della soletta del passaggio per pesci è variabile tra 268,55 m s.l.m. e 266,55 m s.l.m.

Il fondo dell'alveo si trova a $-4,15 \div 4,30$ m dal piano della banchina nella parte a monte della traversa e a $-5,50$ m dal piano della banchina nella parte a valle della traversa.

Il collegamento idraulico tra le opere di progetto e i vettori idraulici è stato realizzato mediante taglio di parte dei muri esistenti e i deflussi sono regolati mediante una paratoia installata in testa al passaggio artificiale.

Al termine della realizzazione del passaggio è stato posato, alla quota del piano campagna (272,50 m s.l.m.), un grigliato in metallo zincato calpestabile, per proteggere il manufatto ed evitare che la gente potesse accedere ai bacini.

All'interno del passaggio stesso è stato invece realizzato un camminamento da utilizzare per le operazioni di pulizia e manutenzione dei bacini. Il camminamento poggia sulla sommità dei setti ed ha una larghezza di 0,60 metri. Esso è dotato di parapetti di protezione.

L'accesso al camminamento è collocato in corrispondenza della paratoia di regolazione in testa all'opera, attraverso una scala infissa sul muro, a cui si accede sollevando il grigliato pedonale.

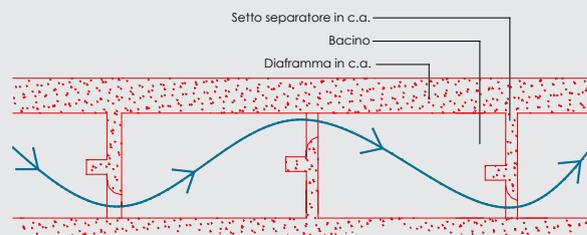
Il dimensionamento dell'opera si è basato su criteri precisi:

1. il dislivello tra due bacini contigui è stato definito in base alla fauna ittica interessata (specie ittiche, ai diversi stadi di accrescimento) e alle condizioni ambientali, in particolare velocità di corrente riscontrabile nel passaggio e temperatura;

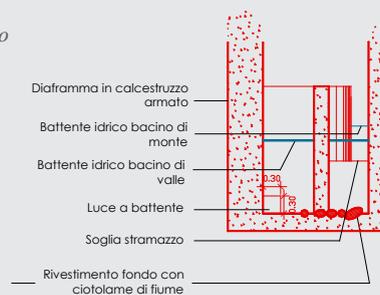
Sezione del passaggio all'imbocco di monte



Planimetria dei bacini



Sezione di un bacino



Profilo del passaggio



2. i livelli di monte e di valle e il numero di bacini sono stati definiti al fine, in primo luogo, di evitare la formazione di eccessivi dislivelli idrici tra i bacini, la messa in asciutta del passaggio, la formazione di discontinuità insormontabili per i pesci;

3. la scelta della modalità di comunicazione tra due bacini contigui dipende in particolare da due parametri: le variazioni dei livelli di monte e di valle durante i periodi migratori; le specie che utilizzeranno il passaggio;

4. le dimensioni dei bacini e delle aperture sono state definite nel rispetto della potenza massima dissipata per unità di volume;

5. il funzionamento del passaggio è stato verificato in condizioni estreme di livello e ne è stata verificata la compatibilità idraulica.

Il Progetto Esecutivo è stato ultimato nel novembre 2005.

REALIZZAZIONE

I lavori di realizzazione del passaggio sono iniziati nel luglio 2006 ed il passaggio è stato inaugurato il 15 aprile 2007.

In queste pagine sono illustrati alcuni momenti della realizzazione.

MONITORAGGIO

Questo passaggio è stato munito di un sistema di monitoraggio in continuo, basato sull'utilizzo di una telecamera fissa, collegata ad un computer per la registrazione dei filmati relativi a ciascun passaggio di pesci da e verso monte. Per approfondimenti, si rimanda alla scheda di progetto dedicata a questo caso specifico, alla fine del paragrafo relativo ai sistemi di monitoraggio del funzionamento dei passaggi per pesci.



2.

1. Segnaletica dei lavori in corso per la realizzazione del passaggio.

2. Lavori di predisposizione per la realizzazione del diaframma in c.a. perimetrale a protezione degli scavi del passaggio per pesci.

3. Scavo in trincea a sezione obbligata per la realizzazione del passaggio per pesci, protetto da diaframmi in c.a.



1.



3.



4.



5.

4. Tipologia realizzativa dei setti divisori tra bacini, con luce di fondo a battente, realizzata mediante cassero metallico a perdere e fessura laterale a smusso circolare realizzata con cassero provvisorio in legno.

5. Particolare del setto realizzato.

6. Inserimento architettonico del passaggio per pesci nelle adiacenze della pista ciclabile e della passeggiata lungo il corso d'acqua.

7. Vista dello sbarramento e del passaggio finito.

8. Vista del passaggio per pesci dal camminamento di manutenzione interno, sottostante al grigliato di copertura pedonale.



6.



7.



8.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PASSAGGI A BACINI SUCCESSIVI SUL FIUME TICINO A PANPERDUTO E A PORTO DELLA TORRE A SOMMA LOMBARDO (VA)

Titolo del lavoro: Realizzazione di un passaggio artificiale per pesci presso lo sbarramento di Panperduto sul Fiume Ticino a Somma Lombardo (VA)

Committente: Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Altri Enti coinvolti: Regione Lombardia, Province di Varese e di Novara, Consorzio di Bonifica Est Ticino-Villoresi

Progettisti: GRAIA srl

Anni di progettazione: 2005-2009

Anno di realizzazione: 2009-2011

Il Fiume Ticino sublacuale, emissario del Lago Maggiore, costituisce uno degli ecosistemi fluviali di maggiore interesse naturalistico, se non il più interessante, del territorio lombardo. Esso, con un percorso di 110 km sviluppato in direzione nord-ovest/sud-est, collega il Lago Maggiore al Fiume Po, a cui veicola le acque di un enorme bacino idrografico sotteso (oltre 6.000 km²).

Già nel 1999, in occasione della "Ricerca sulla Fauna Ittica" (GRAIA srl, 1999) compiuta sull'intero sistema fluviale del ticino sublacuale e dei suoi affluenti di maggiore interesse ittico, era stato possibile rilevare l'impatto sui pesci provocato dalla presenza lungo il fiume di due sbarramenti fissi invalicabili, entrambi siti a Somma Lombardo (VA), nel tratto alto del corso d'acqua: le dighe di Panperduto e di Porto della Torre.

Dal 2002 si sono poi susseguiti diversi studi e progetti nell'ambito dei quali è stato eseguito il censimento delle discontinuità fluviali nell'intero bacino idrografico del Fiume Ticino, in particolare nella sua porzione vocazionale alla trota marmorata (Progetto INTERREG IIIA per la conservazione della trota marmorata), rilevando oltre 120 discontinuità in tutta la parte italiana del bacino, di cui circa 100 artificiali invalicabili o parzialmente valicabili. In alcuni casi le discontinuità erano munite di passaggi per pesci, che però erano risultati mal funzionanti o del tutto inservibili. Definite le priorità di intervento, è emersa la necessità di dare la precedenza alla mitigazione dell'impatto dei due sbarramenti sul Ticino sublacuale, per i quali peraltro erano già stati realizzati nel 2002 gli studi di fattibilità (GRAIA srl, 2002). il primo sbarramento su cui si è intervenuto è quello di Panperduto, in corrispondenza del quale è stato progettato e realizzato negli anni tra il 2006 ed il 2009 un passaggio a bacini successivi. Attualmente è in corso la realizzazione del secondo passaggio, anch'esso a bacini successivi, in corrispondenza della



diga di Porto della Torre. Una volta terminato anche questo passaggio, sarà ripristinata la continuità tra Lago Maggiore e Fiume Po e sarà di nuovo possibile la libera percorribilità lungo l'intero Ticino sublacuale, a tutto vantaggio delle numerosissime popolazioni ittiche che abitano il fiume e la rete idrica collegata.

Si consideri, infatti, che il Ticino sublacuale attualmente ospita ancora ben 30 specie autoctone, tra cui importanti migratori come lo storione cobice e l'anguilla, e numerose specie vagili di interesse conservazionistico come la trota marmorata, il temolo, i barbi, la lasca, la savetta e altri ancora. Dodici delle specie native sono peraltro inserite in Allegato B della Direttiva 92/43/CE. Per tutte queste specie il ripristino della continuità fluviale costituisce un presupposto imprescindibile per la loro conservazione a lungo termine.

AREA DI PROGETTO

L'area di progetto è il tratto alto del Ticino sublacuale, in comune di Somma Lombardo (VA). Qui, a distanza di poche centinaia di metri l'una dall'altra, le dighe di Panperduto (a valle) e Porto della Torre (a monte) erano fino a pochi mesi fa (quella di Porto della Torre lo è ancora per poco) gli unici due punti di discontinuità fluviale presenti su tutto il Ticino sublacuale.

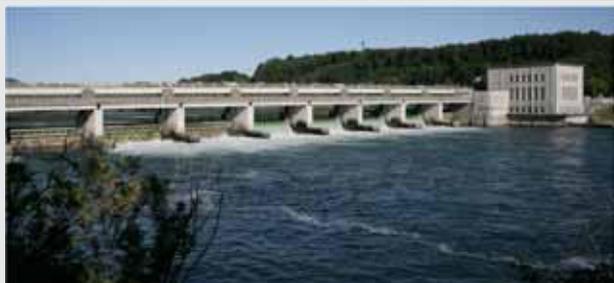
Lo sbarramento di Panperduto è stato creato alla fine del XIX secolo per alimentare il Canale Villoresi, che serve le utenze irrigue di tutta la pianura a Nord di Milano. Successivamente l'opera di presa è stata sfruttata anche per alimentare il Canale Industriale, utilizzato prevalentemente per la produzione di energia idroelettrica e per fornire acqua al Naviglio Grande.

Lo sbarramento è costituito da una traversa lunga circa 280 metri, che taglia trasversalmente l'alveo del fiume; la soglia di



Fiume Ticino sublacuale, diga di Panperduto (Somma Lombardo, VA).

Fiume Ticino sublacuale, diga di Porto della Torre (Somma Lombardo, VA).



sfioro è a 185,75 m s.l.m.. Lungo la sommità della struttura in calcestruzzo, nel 1999 sono stati installati tre cilindri di gomma che vengono riempiti con acqua con lo scopo di aumentare quando è necessario il livello della soglia di sfioro. In particolare, partendo dalla sponda sinistra del fiume, i primi due cilindri possono essere o completamente pieni (alzando di +90 cm la soglia di sfioro) o completamente vuoti (alzando di +0 cm la soglia di sfioro), mentre l'ultimo cilindro può assumere anche posizioni intermedie. La derivazione d'acqua avviene attraverso un bacino intermedio (bacino di distribuzione) posto tra il fiume e l'inizio dei canali di derivazione. Il bacino di distribuzione è collegato all'alveo fluviale attraverso una schiera di 30 paratoie, regolando le quali il livello nel bacino di distribuzione viene mantenuto costante. Accanto alle paratoie è presente una conca di navigazione attualmente non funzionante. Il bacino di distribuzione è lungo circa 700 metri ed ha una larghezza media di 50 metri.

L'acqua derivata a Panperduto non viene restituita immediatamente al fiume e nel tratto a valle dello sbarramento, nei periodi di magra, ci sono gravi problemi dovuti alla scarsa disponibilità idrica. Attualmente la portata idrica rilasciata normalmente al Ticino è pari a circa 17 m³/s, come media annuale di un valore che è modulato mensilmente passando tra un minimo di 12 ad un massimo di 22 m³/s, ed è tuttora oggetto di studio all'interno di un progetto di sperimentazione del DMV facente capo al Consorzio del Ticino.

OBIETTIVI

Obiettivo del progetto è il ripristino della percorribilità fluviale da parte della fauna ittica nativa del fiume e dunque di tutte le specie autoctone attualmente e potenzialmente presenti,

ciascuna con diverse esigenze e capacità di movimento e spostamento, nel rispetto della funzionalità dell'opera di derivazione.

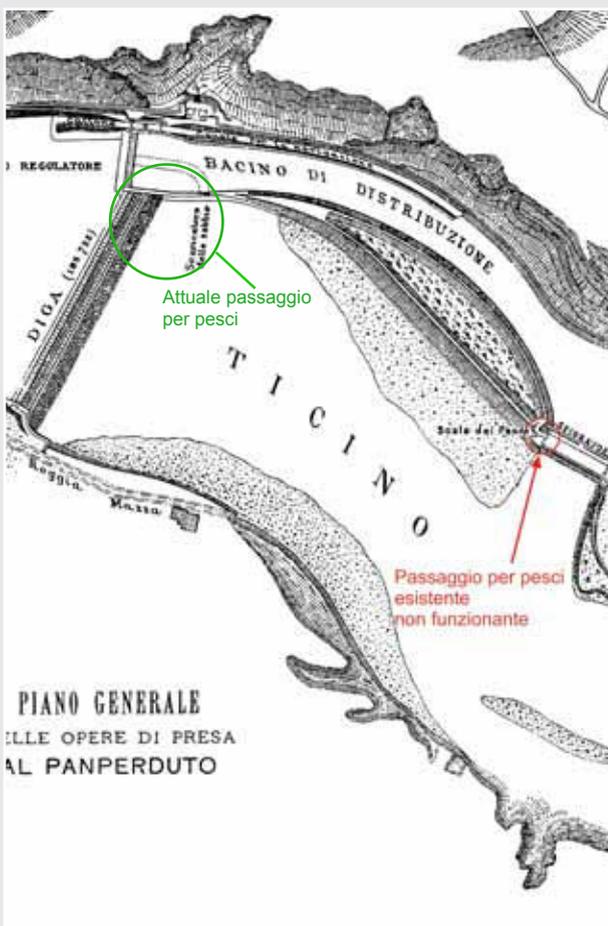
PROGETTAZIONE

Nella fase di progettazione preliminare sono state raccolte, organizzate e acquisite tutte le informazioni riguardanti l'ecosistema fluviale, in particolare la fauna ittica nativa (comunità ittica attuale e potenziale), la morfologia dell'alveo a monte e a valle dei manufatti, le caratteristiche idrologiche del corso d'acqua e tutte le altre informazioni di carattere geografico, ecologico e idraulico necessarie. E' stata anche attivata una produttiva collaborazione con l'Ente gestore dello sbarramento (Consorzio di bonifica Est Ticino-Villoresi), dal quale sono stati presi tutti i dati relativi allo sbarramento: manufatti, portate e livelli, criteri gestionali.

Per i livelli idrici a monte dello sbarramento e nel bacino di distribuzione sono state effettuate analisi statistiche sulla base di dati registrati con frequenza giornaliera dal 1993 al 2002; per i livelli di valle, non essendo disponibili dati storici, è stato assunto come livello di riferimento il valore medio rilevato durante i sopralluoghi effettuati nel corso degli studi preliminari di progettazione e riscontrato sul materiale bibliografico recuperato. Riguardo al livello all'interno del bacino di distribuzione, esso viene mantenuto costante regolando le paratoie in ingresso e in uscita dallo stesso: le variazioni del livello nel bacino sono dovute prevalentemente alla necessità



Schema dei livelli a monte e a valle dello sbarramento di Panperduto.



Pianta del progetto originario del sistema di derivazione con indicazione delle localizzazioni del passaggio per pesci preesistente, ma non funzionante, e dell'attuale passaggio per pesci.

di effettuare interventi di manutenzione oppure al fatto che cambiano i criteri di gestione e di conseguenza si stabilisce un nuovo livello da mantenere.

Avendo tenuto conto di tutti gli aspetti di cui ai capitoli precedenti del presente Manuale, è stato scelto di progettare e costruire un passaggio per pesci a bacini successivi, soprattutto in considerazione dell'altezza del dislivello monte-valle da superare (4,5 m) e della necessità di assicurare la percorribilità da parte del maggior numero possibile di specie ittiche native, dalle più svariate capacità natatorie ed esigenze di spostamento.

La progettazione è quindi proseguita con la fase di dimensionamento del passaggio e di definizione della localizzazione del manufatto. Per quest'ultima sono stati effettuati vari sopralluoghi, coinvolgendo anche il personale del Consorzio di Bonifica Est Ticino - Villorresi. La scelta della localizzazione è stata effettuata considerando:

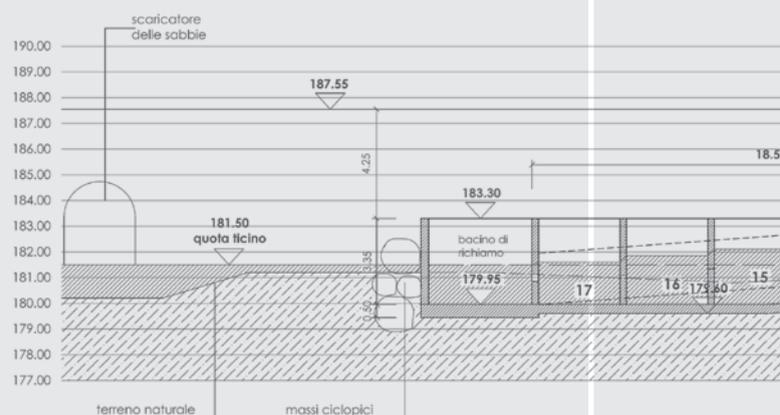
- caratteristiche dei manufatti esistenti;
- sistema di derivazione dell'acqua e localizzazione dei punti di rilascio;
- caratteristiche dell'ambiente fluviale a valle dello sbarramento;
- localizzazione delle zone con maggior densità di fauna ittica;
- accessibilità alle aree;
- comportamento idraulico del fiume in caso di piena.
- con particolare attenzione ai tratti di sponda a monte e a valle degli sbarramenti.

I parametri di dimensionamento dell'opera sono raccolti nella tabella a fianco. Come anticipato i livelli idrici di monte e di valle sono stati definiti su base statistica il primo e sulla base dei dati esistenti il secondo, utilizzando per entrambi valori ulteriormente cautelativi rispetto ad i valori medi calcolati.

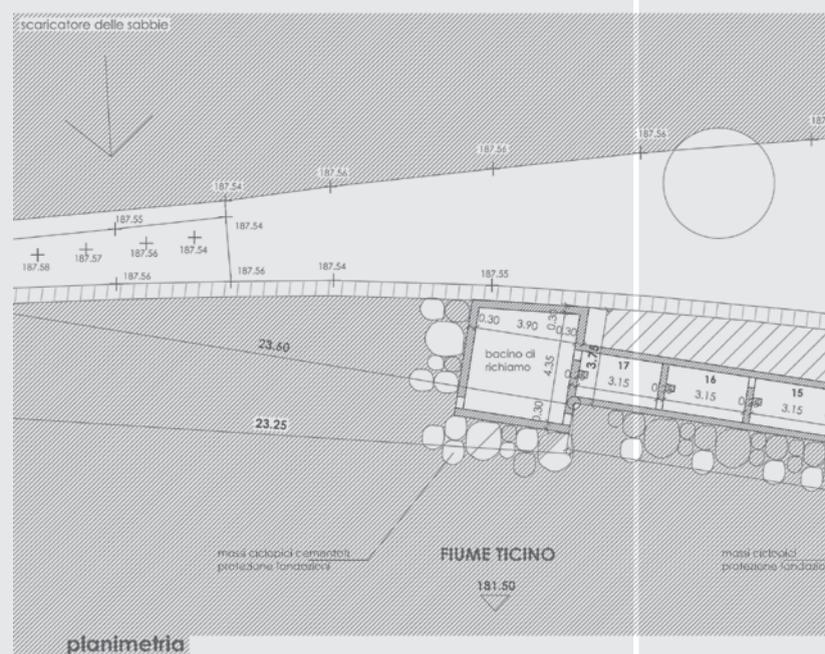
Si noti in particolare che il dimensionamento del passaggio è stato effettuato in funzione dei vincoli consigliati dalla letteratura di settore:

- il dislivello tra due bacini contigui è stato mantenuto inferiore a 25 cm;
- il collegamento tra i bacini avviene esclusivamente attraverso uno stramazzone rigurgitato e un orificio di fondo;
- le dimensioni dei bacini e delle fessure di collegamento sono sufficientemente grandi da consentire il passaggio di pesci di grossa taglia;
- le dimensioni dei singoli bacini e delle luci di collegamento tra gli stessi sono conformi con la varietà di esigenze e necessità delle specie ittiche presenti nel fiume;
- la potenza specifica dissipata si mantiene largamente inferiore a 150 W/m³, valore indicato a garanzia della risalita anche delle specie ittiche con capacità natatorie più limitate.

Con tali vincoli, il passaggio risulta avere una lunghezza complessiva di 62 m, distribuiti in 17 bacini, più i due bacini di raccordo a monte e a valle; il salto complessivo, pari a 4,5 metri,



sezione longitudinale



planimetria

è stato distribuito sui 18 setti presenti; la pendenza media è inferiore all'8% e la portata defluente è pari a circa 500 l/s.

Dalle verifiche condotte sul funzionamento idraulico del passaggio si evince che:

- esso funziona a stramazzo rigurgitato e a battente (per quanto riguarda l'orifizio di fondo);
- il battente idrico nei bacini si mantiene attorno a 1,5 metri ed il carico idraulico sulla soglia dello stramazzo è pari a 0,9 metri;
- le condizioni idrauliche di cui ai punti precedenti e quelle di progetto (dislivello tra due bacini e potenza specifica dissipata) si mantengono uguali in tutti i bacini costituenti il passaggio.

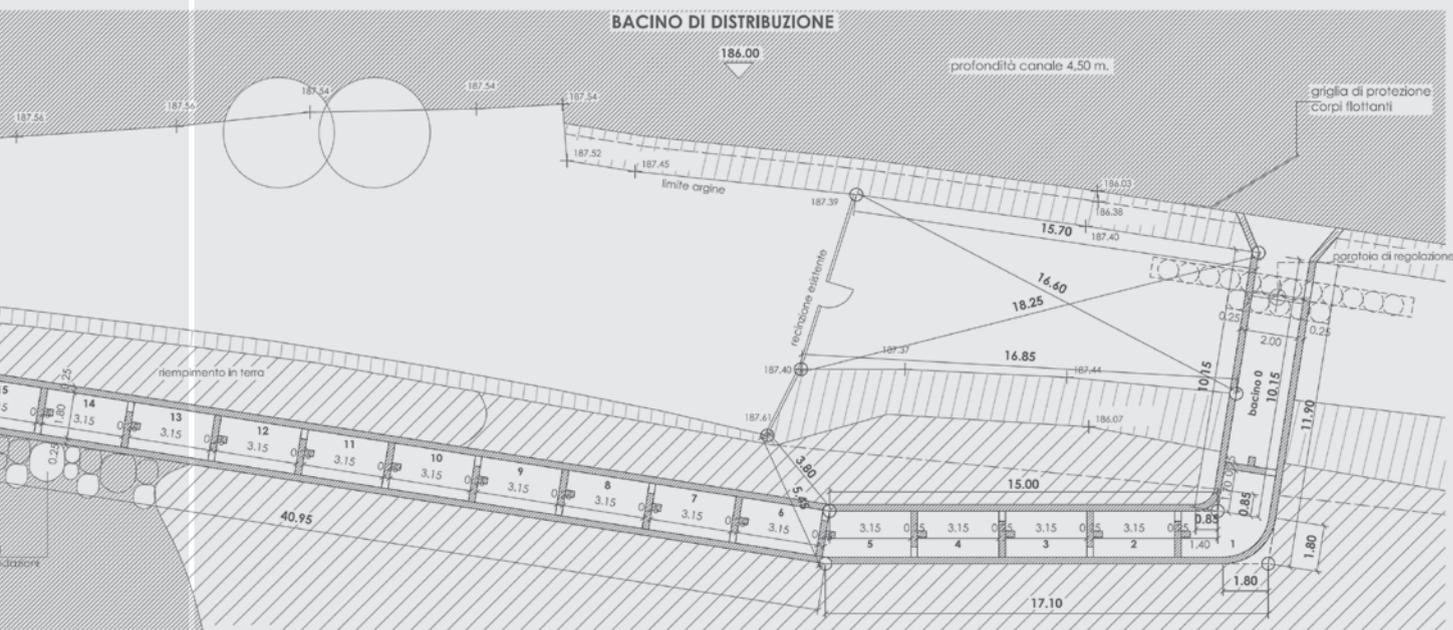
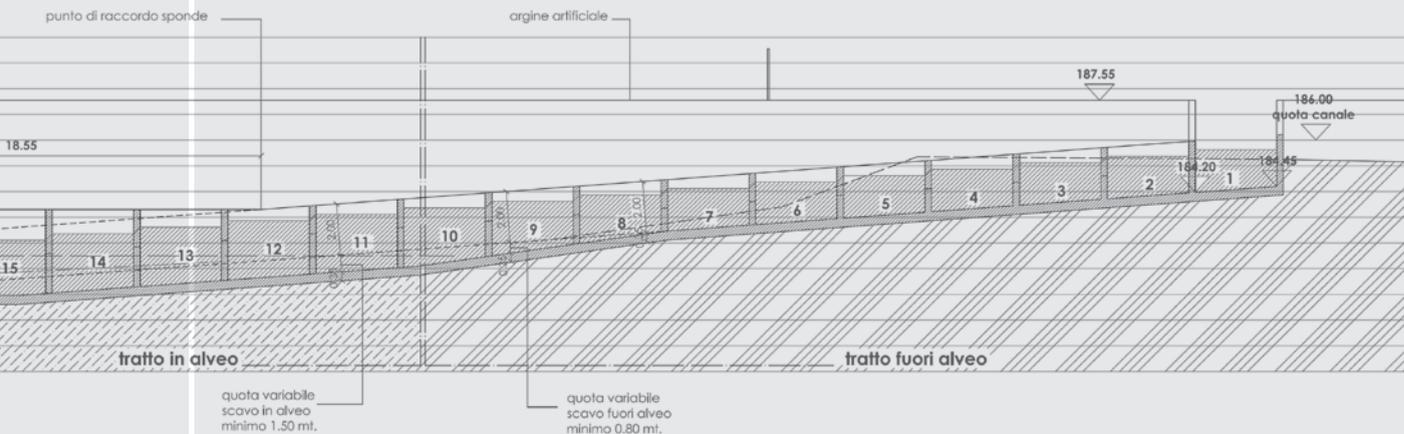
Per quanto riguarda invece la risalita dei pesci attraverso le paratoie che costituiscono l'opera di regolazione tra l'alveo a monte ed il bacino di distribuzione (in cui è stato posizionato l'imbocco di monte del passaggio), è stata effettuato un confronto tra la distribuzione di frequenza della differenza di livello a monte e a valle delle paratoie, la velocità della corrente corrispondente ad ogni differenza di livello e le capacità dei pesci di risalire una corrente con dette velocità.

Basandosi sull'ipotesi che velocità dell'ordine di 1,5 m/s, in un tratto breve come quello in esame, sono sostenute da quasi tutti i pesci che si servono del passaggio (Larnier *et al.*, 2002), si evince che per differenze di livello inferiori a 0,20 - 0,25 m,

| PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO | | |
|---------------------------------------|---|---|
| Parametro | Valore | Motivazioni |
| Dislivello tra due bacini | 0,25 m | L'abbondanza nel fiume di pesci aventi capacità natatorie contenute impone dislivelli ridotti |
| Livello idrico di monte | 186,02 m s.l.m. | Valore definito su base statistica |
| Livello idrico di valle | 181,50 m s.l.m. | Valore definito come spiegato nel testo |
| Tipologia di comunicazione tra bacini | fessura laterale a flusso rigurgitato + orifizio di fondo | L'abbondanza nel fiume di pesci che si spostano senza effettuare salti richiede la presenza dell'orifizio di fondo |
| Larghezza fessura laterale | 0,4 m | Occorre garantire il passaggio anche a pesci di grossa taglia |
| Dimensioni orifizio di fondo | 0,3 m x 0,3 m | |
| Lunghezza dei bacini | 3,15 m | Occorre garantire il passaggio di pesci di dimensioni che possono raggiungere e superare il metro di lunghezza corporea (trota marmorata, luccio) |
| Larghezza dei bacini | 1,8 m | |

| DIMENSIONI DEL PASSAGGIO | |
|-------------------------------------|--|
| Parametro | Valore |
| Portata defluente | circa 500 l/s |
| Numero di bacini | 17 + il bacino di raccordo a monte e il bacino di sbocco a valle |
| Lunghezza complessiva del passaggio | circa 62 m |
| Pendenza media | 7,8 ‰ |

| CONFRONTO CON I VINCOLI DA RISPETTARE | | |
|---|--|--|
| Parametro | Valore | Range di valori consigliati |
| Potenza specifica dissipata | 120 W/m ³ _{max} 130 W/m ³ _{min} | minore di 150 W/m ³ per Ciprinidi minore di 200 W/m ³ per Salmonidi |
| Rapporto lunghezza/larghezza bacini | 1,75 | compreso tra 1,6 e 1,8 |
| Rapporto lunghezza bacino/larghezza fessura laterale | 8,7 | compreso tra 7 e 12 |
| Rapporto larghezza bacino/larghezza fessura laterale | 4,5 | compreso tra 4 e 6 |
| Rapporto battente sullo stramazzo/dislivello tra bacini | 3,6 | maggiore di 2 |



Le opere di regolazione possono essere attraversate dai pesci in risalita; queste circostanze si verificano nel concreto con una frequenza di circa il 75%.

Se si limita l'analisi ai soli pesci con buone capacità natatorie, si osserva che le paratoie possono essere attraversate praticamente sempre, in quanto tali pesci riescono a risalire per brevi tratti correnti con velocità superiori a 2 m/s.

In conclusione si ricorda che in ogni caso la presenza delle paratoie non costituisce comunque un problema alla risalita dei pesci in quanto questi, dopo avere raggiunto il bacino di distribuzione attraverso il passaggio artificiale, possono comunque aspettare che il livello a monte delle opere di regolazione diminuisca fino a che la velocità attraverso l'opera di regolazione sia tale da poter consentire la risalita controcorrente.

REALIZZAZIONE

Le principali caratteristiche costruttive del passaggio sono le seguenti, da monte verso valle:

- Il passaggio si compone di un primo "canale di raccordo" che ha lo scopo di collegare il bacino di distribuzione al passaggio a bacini successivi. Esso è stato scavato all'interno del terrapieno di contenimento in direzione ortogonale a quella di deflusso delle acque nel bacino di distribuzione. Al suo interno è posta una paratoia per permettere l'interruzione del flusso idrico in ingresso al passaggio, nel caso si rendano necessari interventi di manutenzione dell'opera.

- I bacini successivi che compongono il passaggio hanno setti collocati in modo tale da creare un'alternanza tra le fessure. In questo modo si evita l'insorgere nei bacini di cortocircuiti

idraulici, con velocità della corrente non compatibile alla risalita dei pesci; lo spigolo di monte della fessura laterale è smussato, in modo da evitare un eccessivo restringimento della lama d'acqua a valle delle stesse. Il fondo dei bacini è rivestito con materiale inerte grossolano (ghiaia e ciottoli), adatto alla fauna ittica e bentonica, avente la funzione di aumentare la rugosità e la resistenza ai flussi idraulici.

- Il raccordo tra il passaggio a bacini successivi e l'alveo di valle è assicurato da un bacino di dimensioni maggiori rispetto a quelli che compongono il passaggio, con funzioni di richiamo dei pesci e di protezione dell'opera in caso di piene eccezionali. Esso ha infatti una struttura più "robusta" rispetto al resto del manufatto ed un'altezza maggiore.

Il passaggio è stato costruito nell'anno 2009, a seguito anche di una variante di progetto, con la quale è stata prevista per esso anche la costruzione di un sistema di monitoraggio in continuo della funzionalità dell'opera, ed è attualmente funzionante.

MONITORAGGIO

Con una variante al progetto originario, il passaggio oggi in funzione è stato anche dotato, come detto, di un sistema di monitoraggio in continuo, costituito da una camera di osservazione, munita di una finestra su uno dei bacini successivi, attraverso cui una telecamera collegata ad un computer consente la registrazione di ogni attraversamento da parte dei pesci.





1. Vista generale da valle del passaggio realizzato, in periodo di morbida. Dalla foto è evidente il canale di raccordo, non previsto dal progetto, ma realizzato al fine di garantire il perenne collegamento con il ramo fluviale in destra orografica.

2. e 3. Viste, da monte e da valle, della porzione intermedia del passaggio a bacini successivi.

4. Vista del canale di raccordo, in periodo di magra. Come si evince dal confronto con l'immagine 1, il canale di raccordo risulta perfettamente efficace in qualsiasi condizione di portata idrologica.

5. e 6. Sistema e componenti di monitoraggio in continuo del funzionamento del passaggio.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN PASSAGGIO A BACINI SUCCESSIVI SUL FIUME ADDA A TREZZO SULL'ADDA (MI)

Titolo del lavoro: Realizzazione di un passaggio artificiale per pesci presso lo sbarramento Italgel a Trezzo sull'Adda (località Concesa) sul Fiume Adda (MI)

Committente: Parco Adda Nord

Altri Enti coinvolti: Regione Lombardia - Assessorato Qualità dell'Ambiente, Italgel S.p.A., Legler S.p.A., Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi

Progettisti: GRAIA srl

Anni di progettazione: 2003-2005

Anno di realizzazione: 2005

La necessità di realizzare un passaggio per la risalita dei pesci in corrispondenza dello sbarramento Italgel era stata segnalata da uno studio promosso dalla Provincia di Milano - Servizio Gestione Attività Venatoria e Piscatoria e realizzato dalla GRAIA Srl nel 2003, con il quale era stato analizzato lo stato di frammentazione del Fiume Adda sublacuale nel suo tratto milanese ed erano state vagliate le possibili mitigazioni per il ripristino della libera percorribilità dei pesci nel medesimo tratto.

Avendo recepito e condiviso i contenuti di tale studio, il Parco Adda Nord si è fatto promotore della realizzazione del passaggio per pesci, cercando fonti di finanziamento e sensibilizzando gli altri enti territorialmente coinvolti. È stato così che nell'ambito dell'Accordo Quadro Regione - Ministero dell'Ambiente, l'Assessorato alla Qualità dell'Ambiente della Regione Lombardia ha deciso di finanziare il progetto e la realizzazione del passaggio artificiale, costruito anche grazie al cofinanziamento del Parco Adda Nord, di Italgel S.p.A., di Legler S.p.A. e del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi.

AREA DI PROGETTO

Il presente progetto ha riguardato la realizzazione di un passaggio artificiale per pesci in corrispondenza dello sbarramento artificiale esistente sul Fiume Adda, circa 40 km a valle di Lecco, in un tratto in cui l'Adda segna il confine tra le province di Milano e di Bergamo.

L'area di interesse si trova sul confine tra i comuni di Trezzo sull'Adda (MI) e Capriate San Gervasio (BG), circa 200 m a valle del ponte dell'autostrada A4. Lo sbarramento è quasi interamente compreso nel Comune di Trezzo.

Lo sbarramento in esame serve tre utenze, di cui una irrigua e due idroelettriche ed è compreso tra il canale di adduzione a servizio della Legler, in sponda orografica sinistra, e il Canale Martesana in sponda destra. Sempre sulla sponda destra, poco a monte dello sbarramento, ha origine la galleria di adduzione alla centrale Italgel. Lo sbarramento è largo circa 50 m ed



è composto da degli organi fissi e mobili attraverso i quali è possibile regolare la quantità di acqua che defluisce verso l'alveo di valle. Il salto generato dallo sbarramento è di circa 6-7 m.

A valle dello sbarramento, per alcune centinaia di metri, l'alveo fluviale è costeggiato a destra dal Canale Martesana e a sinistra dal Canale Legler. A circa 200 m dallo sbarramento è presente una passerella pedonale che attraversa il fiume ed i due canali. L'opera è stata realizzata in corrispondenza della passerella, accanto allo sfioratore che costituisce l'argine destro del Canale Legler.

Il Fiume Adda in questo tratto riveste un notevole pregio ittiofaunistico, essendo naturalmente vocato ad ospitare una grande varietà di specie, tra cui almeno 11 di interesse comunitario, inserite in all'Allegato B della "Direttiva Habitat", e cioè: Storione cobice, Trota marmorata, Barbo canino e Barbo comune, Lasca e Savetta, Pigo, Vairone, Agone, Cobite comune, Scazzone. Qui la comunità ittica fluviale originaria ha subito, nel corso degli anni, pesanti modifiche di composizione e struttura, arrivando a contare tra le specie presenti numerose specie esotiche, attualmente in alcuni casi anche numericamente più abbondanti e più in salute della maggior parte delle specie native sopravvissute. Una delle cause primarie del depauperamento della comunità ittica nativa, oltre che nell'introduzione di esotici invasivi, è sicuramente da ricercarsi nella frammentazione dell'habitat fluviale che limita le possibilità di migrazione, o comunque di spostamento, dei pesci.

OBIETTIVI

Obiettivo del progetto è il ripristino della libera percorribilità da parte della fauna ittica in corrispondenza dello sbarramento Italgel a Trezzo sull'Adda, anche come primo passo nella direzione della completa percorribilità del tratto sublacuale del fiume, dal Lago di Como al Po.



PROGETTAZIONE

Una volta raccolti i dati ed avviati i rapporti di collaborazione con gli enti gestori delle opere idriche di derivazione interessati, la fase preliminare della progettazione ha riguardato l'analisi di tutte le informazioni e la ricostruzione delle caratteristiche ambientali, ecologiche ed idrauliche del fiume nel tratto di interesse e dello sbarramento in questione (manufatti, portate e livelli, criteri gestionali), nonché l'analisi dei vincoli e delle condizioni al contorno da tenere presenti nella progettazione dell'opera.

Sulla base delle informazioni raccolte e dei quadri emersi è apparso evidente che la scelta progettuale dovesse ricadere su un passaggio a bacini successivi. Il salto complessivo da superare (6,8 m), la pendenza da mantenere (inferiore al 10%), la disponibilità di sufficiente spazio per la realizzazione, sono tra le principali ragioni che motivano una simile scelta.

Riguardo al luogo in cui realizzare l'opera, la localizzazione del passaggio e dunque dei punti di ingresso e di uscita dello stesso, è stata individuata a seguito di complesse valutazioni. L'opera doveva, infatti, essere posta in un punto con adeguato richiamo per i pesci, ma nello stesso tempo non doveva interferire con gli organi idraulici esistenti e non doveva essere eccessivamente esposta alle piene dell'Adda.

Da un'analisi del territorio e dei criteri di gestione dello sbarramento e delle altre opere idrauliche, si è scelto di realizzare l'opera in sponda sinistra, in corrispondenza della passerella pedonale, posta una cinquantina di metri a valle dello sbarramento, con l'imbocco di monte all'interno del Canale Legler; da qui, in qualsiasi momento dell'anno, i pesci avrebbero potuto raggiungere il Fiume Adda a monte dello sbarramento, in quanto tra il canale e l'alveo del fiume non s'impone alcuna discontinuità invalicabile. Inoltre, il punto di



1. e 2. Lo sbarramento Italgem a Trezzo sull'Adda, visto da valle.

3. Indicazione della localizzazione del passaggio poi realizzato.

raccordo si sarebbe trovato in una zona in cui le escursioni di livello sono assai ridotte e con scarsa turbolenza. L'imbocco di valle sarebbe invece stato posizionato in corrispondenza di una grande buca a valle della passerella pedonale, che avrebbe potuto svolgere efficacemente la funzione di richiamo dei pesci provenienti da valle e, più in generale, di raccordo del passaggio con l'alveo fluviale a valle.

Un ulteriore elemento a favore della scelta di questa localizzazione risiedeva anche nel fatto che sul canale Legler è presente una paratoia di fondo che sarebbe potuta tornare utile in futuro per la localizzazione del rilascio del DMV; in questo modo l'effetto di richiamo per la fauna ittica avrebbe ulteriormente incrementato l'efficienza del passaggio.

Per il dimensionamento dell'opera, sono state fatte le seguenti scelte progettuali:

- il dislivello tra due bacini contigui, in condizioni idrauliche di progetto, è stato mantenuto inferiore a 27 cm, garantendo in questo modo velocità della corrente contenute e compatibili con specie aventi capacità natatorie ridotte rispetto ai Salmonidi;
- per il collegamento tra i bacini si è optato per uno stramazzone rigurgitato e un orificio di fondo, la cui presenza, oltre ad agevolare la risalita di pesci che compiono spostamenti preferibilmente sul fondo, avrebbe anche contribuito alla pulizia dei bacini;
- le dimensioni dei bacini e delle fessure di collegamento sono state dimensionate in modo da consentire il passaggio di pesci di grossa taglia;
- le dimensioni dei singoli bacini e delle luci di collegamento

tra gli stessi rispettavano i vincoli consigliati dalla letteratura di settore per il funzionamento ottimale dei passaggi per pesci a bacini successivi;

- la potenza specifica dissipata è stata mantenuta inferiore a 150 W/m^3 , valore indicato a garanzia della risalita anche delle specie ittiche con capacità natatorie più limitate.

Il passaggio è stato così progettato come un'opera lunga complessivamente (spessore dei setti compresi) 71 m, composta da 25 bacini, ciascuno lungo 2,5 m, con pendenza media del 9,6 %.

Le caratteristiche costruttive non sono le medesime per tutta la struttura, ma si riconoscono due parti:

- la prima, di monte, composta dai primi 20 bacini, è stata concepita e poi realizzata in cemento armato, con fessura laterale e foro di fondo a forma regolare e con dimensioni ben definite;

- la seconda, di valle, composta dai restanti 5 bacini, è stata progettata e poi realizzata attraverso lo scavo nel substrato roccioso (ceppo) naturale del letto fluviale e pertanto il setto separatore è più spesso e di forma inevitabilmente irregolare; per questi setti non sono provvisti di foro di fondo.

I parametri dimensionali di dettaglio del passaggio sono raccolti nella tabella seguente.

In condizioni di progetto, la portata transitante nel passaggio artificiale è pari a circa 260 l/s.



REALIZZAZIONE

Il passaggio è stato realizzato nell'anno 2005.

Il caso realizzativo è stato di fatto un buon esempio di pianificazione e gestione amministrativa ed in particolare si è configurato come una corretta mediazione tra le problematiche riscontrabili in caso di intervento su sbarramenti esistenti e regole di buona norma progettuale. In particolare gli elementi di attenta valutazione hanno riguardato: la complessa situazione dello sbarramento da cui dipartono tre derivazioni, due delle quali tramite canali laterali che tagliano completamente l'alveo del fiume; l'elevata portata transitabile in quel tratto che comporta condizioni di piena critiche per le infrastrutture; l'esigenza di conciliare l'opera in progettazione con possibili future pratiche di rilascio localizzato del DMV (ipotesi d'impiego della paratoia di fondo del Canale Legler); la corretta localizzazione dell'imbocco di valle rispetto alla

conformazione naturale dell'alveo fluviale; la necessità di garantire un opportuno inserimento paesaggistico ed il minor impatto possibile trovandosi all'interno di un'area protetta dai forti connotati storico-ambientali; l'esigenza di garantire un'elevata fruibilità dell'area con il maggior grado di sicurezza possibile.

L'aspetto di maggiore difficoltà è stato sicuramente la localizzazione del passaggio, che di fatto è stato inserito sullo sfioratore Legler ma è stato mantenuto totalmente indipendente dal punto di vista del carico strutturale, essendo stato interamente realizzato in cemento armato, caricato su tre plinti di fondazione per la parte sospesa, e inserito nelle conformazioni rocciose naturali per la parte terminale scavata nel substrato del letto fluviale.

L'utilizzo di materiali naturali direttamente reperiti in loco (ceppo e massi) e le particolari lavorazioni e attenzioni poste nelle finiture (strollatura delle pareti a vista per permettere una veloce colonizzazione vegetale) hanno sicuramente contribuito ad

Sopra: passaggio ultimato.

A sinistra: parametri di dimensionamento del passaggio.

| PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO | | | |
|---|--------------------------------------|------------------|--|
| Parametro | Valore | | Motivazioni |
| | bacini 1-20 | bacini 21-25 | |
| Dislivello massimo tra due bacini | 0,27 m | | L'abbondanza nel fiume di pesci aventi capacità natatorie contenute impone l'assunzione di dislivelli tra due bacini contigui ridotti. |
| Livello idrico di monte | 140,64 m s.l.m. | | Condizioni al contorno definite a priori. |
| Livello idrico di valle | 133,84 m s.l.m. | | |
| Tipologia di comunicazione tra bacini | fessura laterale + orificio di fondo | fessura laterale | L'abbondanza nel fiume di pesci che si spostano senza effettuare salti richiede la presenza dell'orificio di fondo. Nei bacini di valle la fessura è più profonda e si sovrappone alla mancanza del foro di fondo. |
| Larghezza fessura laterale | 0,25 m | 0,3 m | Garantire il passaggio anche a pesci di grossa taglia. |
| Dimensioni foro di fondo | 0,2 m x 0,2 m | - | |
| Lunghezza dei bacini | 2,50 m | | Garantire il passaggio di pesci di dimensioni che possono superare i 70-80 cm (trota marmorata, luccio). |
| Larghezza dei bacini | 1,5 m | 2 m | |
| DIMENSIONI DEL PASSAGGIO | | | |
| Parametro | Valore | | |
| Portata defluente di progetto corrispondente ad un livello idrico di monte di 140,64 m s.l.m. | circa 260 l/s | | |
| Numero di bacini | 25 | | |
| Lunghezza complessiva del passaggio | circa 70 m | | |
| Pendenza media | 9,6 % | | |
| PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO | | | |
| Parametro | Valore | | Range di valori consigliati |
| | bacini 1-20 | bacini 21-25 | |
| Potenza specifica dissipata in condizioni di progetto [W/m^3] | 134 | 130 | minore di 150 per ciprinidi minore di 200 per salmonidi |
| Rapporto lunghezza/larghezza bacini | 1,7 | 1,3 ³ | compreso tra 1,6 e 1,8 |
| Rapporto lunghezza bacino/larghezza fessura laterale | 10 | 7,2 | compreso tra 7 e 12 |
| Rapporto larghezza bacino/larghezza fessura laterale | 6 | 5,7 | compreso tra 4 e 6 |
| Rapporto battente sullo stramazzone/dislivello tra bacini | 2,8 | | maggiore di 2 |

³ Tale valore è inferiore al valore consigliato in quanto i bacini di valle sono stati progettati con una larghezza superiore a quelli di monte (la lunghezza resta invariata) sia per ridurre ulteriormente la potenza dissipata, sia per compensare le irregolarità dovute allo scavo in roccia.

7.3.4.3.2 Rampe in pietrame o rapide artificiali

Le rampe in pietrame, anche note come rapide artificiali o passaggi rustici, sono l'esempio più diffuso di passaggio per pesci simil-naturale, in quanto imitano le rapide o i torrenti esistenti in natura. Gli elementi stessi che compongono queste opere sono naturali (fatta eccezione per eventuali elementi costruttivi, come profilati metallici o funi d'acciaio utilizzabili per la stabilizzazione dei massi sistemati in alveo).

Rispetto a passaggi tecnici come i passaggi a bacini successivi, le scale Denil, gli ascensori o passaggi particolari come quelli specifici per anguille, le rapide artificiali non svolgono unicamente la funzione di passaggio biologico (peraltro in molti casi selettivo per i pesci), ma oltre ad essere passaggi sempre funzionali per tutte le biocenosi acquatiche in movimento nel fiume (chiaramente se ben progettate e realizzate), in grado di ripristinare il corridoio ecologico fluviale, esse rientrano anche tra le opere di sistemazione idraulica propriamente detta, in quanto possono svolgere sia una funzione strutturale di stabilizzazione di briglie preesistenti, sia una funzione idraulica e idrogeologica di dissipazione dell'energia cinetica dell'acqua e stabilizzazione dell'alveo, che di fatto le rende un'ottima alternativa alle briglie tradizionali. Con le rampe artificiali, le funzioni idrauliche, idrogeologiche e strutturali si coniugano dunque con quelle bio-ecologiche. Ed anche dal punto di vista dell'inserimento paesaggistico, esse si impongono come una soluzione ottimale.

Caratteristiche e dimensionamento

Il principio di funzionamento idraulico delle rampe risiede nel ridurre la pendenza localmente e aumentare la scabrezza del fondo alveo, creando un'alternanza di zone a corrente veloce e zone a corrente lenta, che non solo dissipano la forza erosiva dell'acqua, ma mantengono anche la continuità morfologica ed ecologica e consentono la diversificazione dell'habitat.

Esistono principalmente due tipi di rampe in pietrame, a seconda della funzione principale che sono chiamate a svolgere:

1. rampe di contenimento degli effetti erosivi della corrente;
2. rampe per la risalita dei pesci.

Nel primo caso la rampa è realizzata in primo luogo per svolgere la funzione idraulica e idrogeologica di dissipazione dell'energia della corrente e di contenimento erosivo, ed insieme anche di passaggio per pesci; essa può essere realizzata per esempio per rinforzare una briglia o soglia esistenti, oppure può essere costruita come valida alternativa simil-naturale ad una briglia o soglia, a condizione che la pendenza dell'alveo, il dislivello da superare e la larghezza della sezione dell'alveo lo consentano. In questo caso è necessario che la rampa si estenda per tutta la larghezza dell'alveo fluviale. Nel secondo caso la rampa in pietrame è realizzata con la sola finalità di rendere percorribili una soglia o briglia preesistenti da parte dei pesci. In questo caso le caratteristiche idrauliche dell'opera non definiscono il fine, bensì il mezzo che le rende idonee ad essere percorse dalla fauna ittica in risalita, se opportunamente dimensionate. In questo caso non è necessario che la rampa sia estesa quanto la sezione intera dell'alveo fluviale, ma può interessarne solo una porzione, a meno che le dimensioni modeste del corso d'acqua non favoriscano comunque la realizzazione di una rampa estesa quanto il letto fluviale. Nel caso, invece, in cui una rampa in pietrame debba essere realizzata come passaggio per pesci, in corrispondenza di una briglia o soglia a servizio di una derivazione idrica, e quindi con funzione di regolazione del livello a monte, essa dovrà necessariamente essere realizzata a lato dell'opera trasversale, in modo da non interferire con la funzione di regolazione.

Poco sopra si è fatta la distinzione tra le rampe di regimazione idraulica, necessariamente estese quanto l'alveo fluviale, e le rampe per la risalita dei pesci propriamente dette, che, molto più frequentemente, possono essere estese solo per una porzione della sezione dell'alveo. Le rampe di regimazione hanno una forma planimetrica trapezoidale, con l'alveo che si restringe da monte verso valle; inoltre il profilo della sezione deve essere più profondo al centro, configurando di fatto un alveo di magra che, mantenendo un opportuno battente idrico, assicuri il funzionamento della rampa come passaggio per i pesci, anche in periodo idrologico particolarmente sfavorevole. Una rampa per pesci propriamente detta, invece, più comunemente è un bypass di piccole dimensioni rispetto al corso d'acqua, a meno che il corso d'acqua stesso non sia di dimensioni ridotte, nel qual caso essa, condizioni al contorno permettendo (per esempio a seconda della finalità della traversa),

potrà essere estesa per tutta la sezione dell'alveo. Se si ha in progetto di costruire una traversa con annessa rapida artificiale per pesci, la geometria migliore delle opere consisterebbe in un fronte obliquo dello sbarramento rispetto alla sezione dell'alveo, con il posizionamento della rampa nel punto più di monte del profilo dello sbarramento e dunque l'estensione longitudinale della rampa a monte dello sbarramento stesso: ciò avrebbe come risultato un sicuro effetto di richiamo dei pesci in risalita verso la rampa ed eviterebbe l'arresto del pesce in *pool* profonde, che potrebbero anche rendergli difficoltoso trovare l'accesso alla rampa (Mooney *et al.*, 2007). In realtà, nella gran parte dei casi, la rampa per pesci viene realizzata in corrispondenza di opere preesistenti, nel qual caso una modifica del profilo dello sbarramento, secondo l'angolazione descritta, comporterebbe uno sforzo economico ed un impatto sul corso d'acqua troppo elevati. Per questo, nella gran parte dei casi, le rampe per pesci sono inserite alla base di traverse che tagliano perpendicolarmente l'alveo fluviale.



Esempi di rampe in pietrame realizzate in corrispondenza di discontinuità artificiali preesistenti.

Rampa sul Fiume Brembo a Villa d'Almè (BG). Prima e dopo la realizzazione.



Rampa sul Torrente Margorabbia a Germignaga (VA). Prima e dopo la realizzazione.



Rampa sul Fiume Serio a Nembro (BG). Prima e dopo la realizzazione. La mitigazione della discontinuità attualmente riguarda la briglia di valle.

Nei casi in cui la rampa in pietrame viene realizzata in corrispondenza di briglie esistenti, è fondamentale verificare che il collegamento idraulico ed ecologico generato dalla rampa sia funzionale alla risalita della fauna ittica. In particolare, è fondamentale verificare quanto segue:

1. Dalla rampa deve transitare una portata sufficiente a garantire un buon richiamo a valle e a mantenere un battente idrico adeguato alla percorribilità della fauna ittica su tutta la lunghezza della rampa stessa; nel calcolare la portata transitante, è opportuno considerare la possibile presenza di perdite d'acqua significative lungo il tracciato della rampa.

2. La portata deve essere compatibile con la pendenza media e con la capacità idraulica della rampa. Portate troppo elevate potrebbero comportare un'eccessiva turbolenza, che limita a sua volta la fruibilità della struttura da parte dei pesci.
3. L'imbocco della rampa verso valle deve essere collocato in un punto con sufficiente battente idrico.
4. È fondamentale che la soglia di sfioro della briglia sia sagomata, in modo da concentrare la portata necessaria al corretto funzionamento della rampa in corrispondenza di quest'ultima. Una soglia di sfioro piatta non può garantire un tale effetto.

Sagomatura della soglia di sfioro, con scavo di una gaveta praticato preventivamente alla costruzione della rampa artificiale. Briglia sul Fiume Lambro a Baggero (CO).



Le caratteristiche idrauliche della rampa dipendono dalla sua geometria, dalla portata e dalla scabrezza del materiale utilizzato per costruirla. Come per i passaggi tecnici, anche la progettazione delle rampe in pietrame deve seguire ad uno studio approfondito dell'idrologia del corso d'acqua nel tratto di interesse e delle condizioni idrauliche che si verificano a monte. La sua progettazione richiede preventivamente la determinazione di una serie di variabili, comprendenti:

- i livelli di monte, che devono essere individuati in funzione della rampa e/o della briglia o soglia in corrispondenza della quale è progettata;
- i livelli di valle;
- le portate di magra;
- le portate di piena con tempi di ritorno da 10 a 100-200 anni.

In particolare, le caratteristiche geometriche della rampa, che devono essere definite, comprendono:

- pendenza, che non deve essere superiore a 1:10 (per le rampe di regimazione), 1:20 (per le rampe per pesci propriamente dette) e lunghezza della rampa;
- larghezza della rampa, che in linea generale non deve essere inferiore a 2 m;
- un parametro dimensionale riportato in letteratura indica 1 m di larghezza per ogni 150 l/s di portata, ossia, nel caso di rampe con pendenza del 5-7% e portate di 500 l/s, la larghezza del passaggio è compresa tra 3 e 3,5 m;
- la profondità minima dell'acqua, non inferiore ai 20 cm, con profondità medie intorno ai 30-40 cm; per diversificare i livelli d'acqua e creare zone di riposo/rifugio si consiglia di creare anche buche profonde 1 m;
- la velocità massima, che non deve comunque superare il valore di 1,6-2 m/s, garantito dalle basse pendenze;
- profilo della sezione della rampa, con eventuale canale centrale più stretto e profondo, per consentire il funzionamento della rampa anche in condizioni di magra, assicurando un battente idrico sufficiente a mantenerne la percorribilità da parte delle specie target;
- la scabrezza della rampa, dipendente dalle dimensioni dei massi utilizzati per la costruzione della rampa e dalle tecniche di costruzione impiegate.

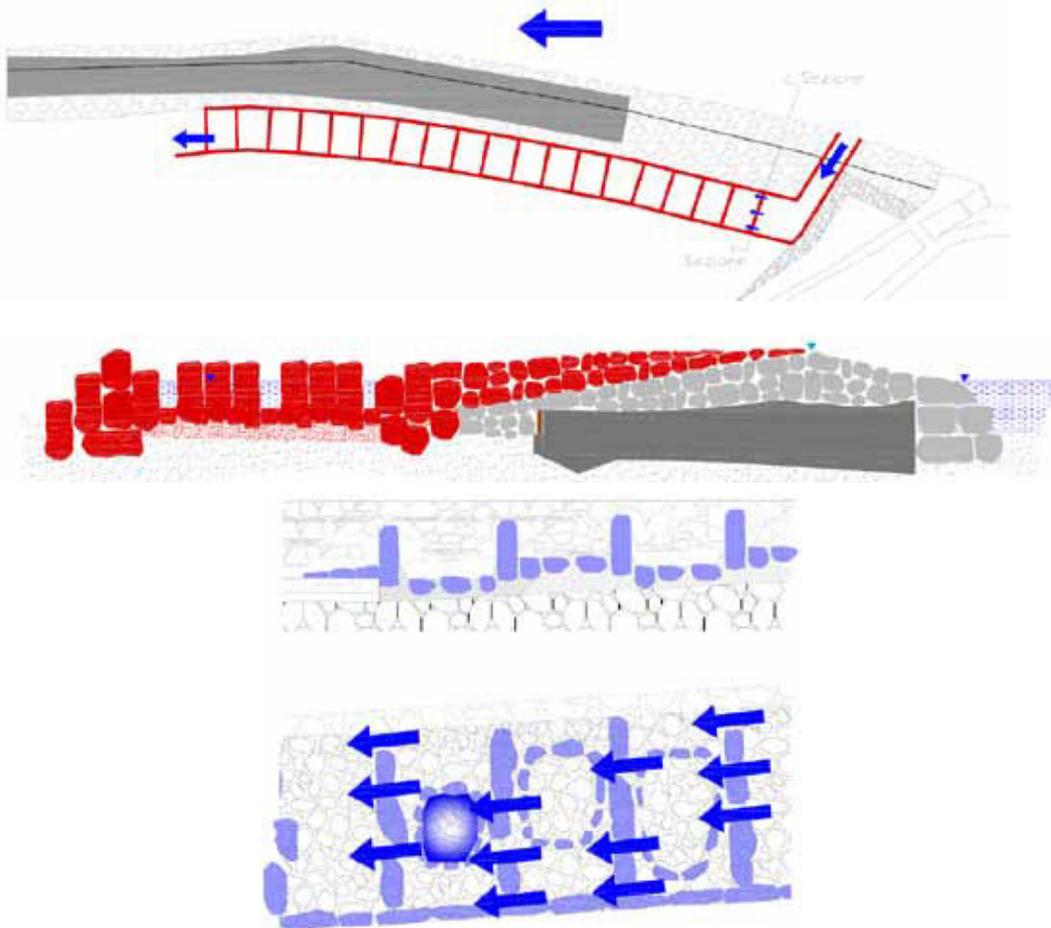
Per quanto riguarda proprio la funzionalità come passaggio per pesci, essa dipende fortemente

dalla profondità dell'acqua nella rampa e dalla velocità di corrente, e dunque dalla pendenza, oltre che dalla lunghezza della rampa stessa, che deve essere determinata tenendo conto della capacità di nuoto e della resistenza delle specie target; più è lunga la rampa, minore dovrà essere la sua pendenza e dunque maggiore sarà l'effetto di dissipazione dell'energia cinetica e della velocità della corrente. Un ulteriore accorgimento, molto efficace per limitare la velocità di corrente nella rampa e favorire le specie meno resistenti alla corrente, fornendo tratti dove è anche possibile riposare per un recuperato flusso laminare, è creare una rampa che simuli il mesohabitat del tipo *step and pool*, con *step* da superare non più elevati di 10-20 cm; ciò facilita la risalita anche di specie con minori capacità natatorie e meno resistenti, come le specie limnofile. In riferimento alla planimetria della rampa, spesso essa, dovendo essere costruita a ridosso di sbarramenti preesistenti a paramento verticale, deve essere confinata a ridosso di una sponda e sostenuta da un muro di contenimento; nel caso invece di sbarramenti verticali con un dislivello particolarmente basso ed un paramento degradante, la rampa può avere una planimetria diversa da quella rettangolare, espandendosi lateralmente con un riempimento inclinato.

In funzione della disposizione dei massi, si distinguono due principali tipologie di rapida (AA.VV., 1993; AA.VV., 2003; AA.VV., 1984):

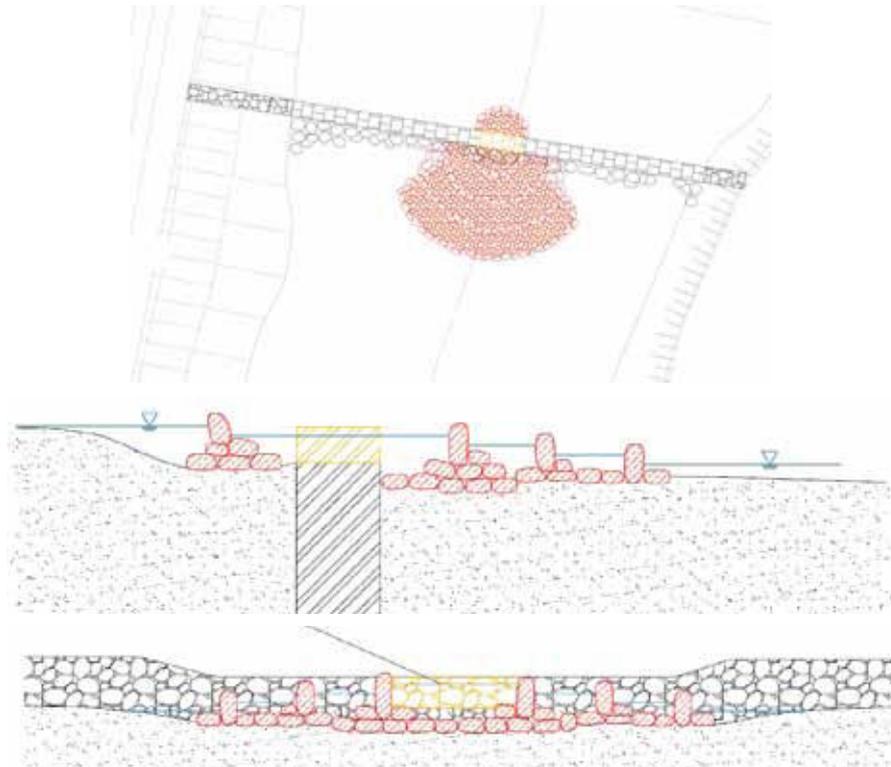
- massi disposti a distanze regolari, in cui la dissipazione di energia è concentrata in prossimità di tali ostacoli e per cui ci si può rifare ad un'ampia trattazione bibliografica di riferimento (formulazioni di Whittaker-Jäggi);
- massi disposti a distanze irregolari, in cui non ci sono veri e propri ostacoli, ma la dissipazione di energia avviene regolarmente lungo tutta la rampa, a causa della presenza di rugosità continue (massi od ostacoli disposti alla rinfusa).

Di seguito si riportano gli schemi grafici relativi alle due tipologie di disposizione dei massi, applicate a rampe realizzate su porzioni di sezione e a rampe realizzate per l'intera sezione dell'alveo.

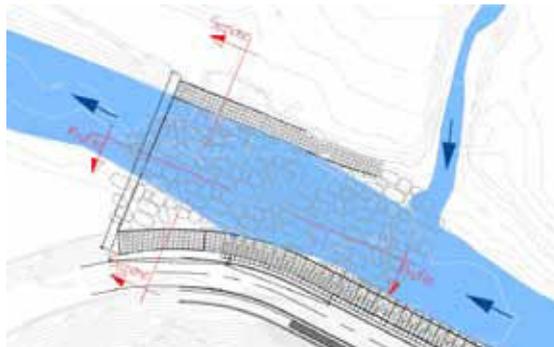


Schema grafico della tipologia "rampa con massi disposti a distanze regolari" applicata ad una rampa costruita in una porzione laterale della sezione dell'alveo bagnato, con planimetria rettangolare. Planimetria, sezione e particolare planimetrico e del profilo della rampa.

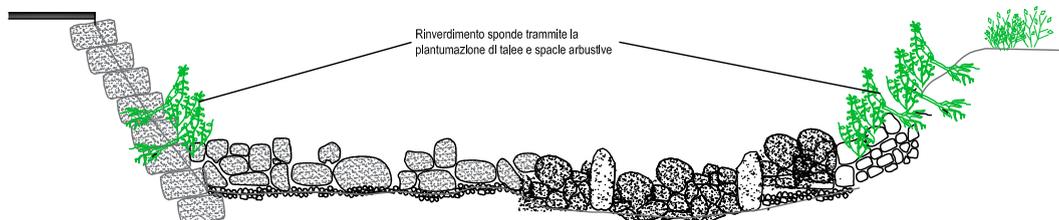
Schema grafico della tipologia di rampa con massi disposti a distanze regolari, applicata ad una rampa costruita nella porzione centrale della sezione dell'alveo bagnato, con planimetria a ventaglio. Planimetria, profilo e sezione della rampa.



Schema grafico della tipologia di rampa con massi disposti a distanze irregolari, applicata ad una rampa di contenimento, a tutto alveo. Planimetria, profilo e sezione della rampa.



Pietrame posato alla rinfusa per formazione di struttura reticolare per la creazione di microambienti diversificati e per riduzione pendenza dello scivolo





Rampa in pietrame sul Fiume Lambro a Merone (CO).

Rampe in pietrame sul Fiume Cassarate, nel tratto terminale, prima dell'immissione nel Lago di Lugano a Lugano, Svizzera (foto: Tiziano Putelli).

Per il dimensionamento della rampa, assume particolare rilievo il rapporto tra le condizioni idrauliche a monte e la stabilità dei massi impiegati nella costruzione della rampa stessa. Per quanto concerne l'idraulica delle rampe, generalmente si utilizza il coefficiente di Manning, nell'ipotesi che la rampa sia sufficientemente lunga da sviluppare una condizione di moto uniforme (Rice *et al.*, 1998); tale coefficiente esprime la dissipazione dell'energia della corrente dovuta alla scabrezza della rampa e, secondo Rice *et al.* (1998), esso dipende dal diametro dei massi utilizzati per costruire la rampa (in particolare la mediana dei diametri) e dalla pendenza della rampa stessa, secondo la seguente formula:

$$n = 0,029 \cdot (D_{50} \cdot S_0)^{0,147}$$

dove:

n = Coefficiente di Manning

D_{50} = mediana delle misure del diametro dei massi utilizzati

S_0 = pendenza della rampa

Dal punto di vista della stabilità, esistono relazioni sperimentali che legano il diametro dei massi e la pendenza della rampa alla portata critica. La funzionalità di una rampa non può infatti prescindere dalla sua resistenza strutturale e dalla sua capacità di resistere alle sollecitazioni. La scelta delle caratteristiche dei massi può essere eseguita ricorrendo a diverse formule (Mooney *et al.*, 2007); quella consigliata è la relazione di Whittaker e Jäggi (1986):

$$q_c = \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \cdot \sqrt{g} \cdot i^{\frac{7}{6}} \cdot d_{65}^{\frac{3}{2}}$$

dove: q_c = portata critica; ρ_s = densità dei massi; ρ_w = densità dell'acqua; g = accelerazione di gravità; i = pendenza; d_{65} = diametro caratteristico dei massi al passante del 65%.

Per quanto concerne i materiali impiegati nella costruzione delle rampe, quello prevalente in assoluto è il pietrame di varie dimensioni. Sono necessari sia massi ciclopici di dimensioni variabili, in base alle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua, sia ghiaia e pietrisco per proteggere il fondo dell'alveo dall'erosione ed evitare fenomeni di scalzamento dei massi. Inoltre, per conferire

maggior stabilità alla struttura, può essere necessario utilizzare pali di legno, profilati metallici e funi d'acciaio. Si sconsiglia il più possibile l'impiego di cemento o cls per la stabilizzazione del fondo e l'ancoraggio dei massi ciclopici.

Tipi particolari di rampa in pietrame possono essere considerati i diversivi, o *bypass* a morfologia simil-naturale. Sostanzialmente si tratta di canali naturaliformi, appunto, che sono realizzati in corrispondenza di uno sbarramento preesistente, che aggirano con percorsi anche lunghi e tortuosi.

Essi non comportano alcuna modifica allo sbarramento preesistente, inoltre la loro naturalità ne fa veri e propri corridoi ecologici, non solo utili alla fauna ittica. Il grande svantaggio, che li rende però, di fatto, raramente fattibili, consiste nel fatto che i diversivi richiedono solitamente molto più spazio che non gli altri tipi di passaggio. Per la loro progettazione, si rimanda alla letteratura di settore (DVWK, 1984; Lange & Lecher, 1993). In linea generale, un canale diversivo ricalca le caratteristiche di un ambiente ipo-ritrale, con un'alternanza di tratti più ripidi e turbolenti e tratti a minore pendenza a flusso laminare e deve rispondere ai seguenti requisiti minimi (FWDWK, 2002):

- pendenza tra 1:100 e 1:20, a seconda della tipologia di corso d'acqua naturale cui si raccorda;
- larghezza della sezione superiore al metro;
- profondità media d'acqua superiore ai 20 cm;
- velocità media della corrente compresa tra 40 e 60 cm/s;
- velocità massima della corrente compresa tra 1,6 e 2 m/s;
- utilizzo di materiali naturali, il più possibile reperiti in loco;
- profilo meandriforme oppure, nel caso dovesse essere rettilineo per questioni di spazio, ricorso frequente ad un'alternanza di buche e rapide, per la diversificazione dell'habitat;
- profilo della sezione trasversale irregolare;
- sponde protette con sistemi di ingegneria naturalistica;
- portata di progetto pari a circa 0,1 m³/s per metro lineare della larghezza della sezione.

Diversivi.

A fianco: fasi di realizzazione di un diversivo sul Fiume Cassarate, in località Piano Stampa a Lugano (Cantone Ticino, Svizzera).

Sotto: il diversivo ultimato in funzione.

(Foto: Tiziano Putelli)



Vantaggi e svantaggi di questo tipo di passaggio

Le rampe in pietrame offrono numerosi e indiscutibili vantaggi, non solo come passaggi per pesci *tout court*, ma anche come opere idrauliche, riassumibili nei punti seguenti:

- il passaggio dei pesci è favorito dalla disposizione dei massi e dalla pendenza dell'alveo;
- la composizione del substrato di fondo, se del tutto naturale (evitando blocchi in calcestruzzo o rivestimenti in calcestruzzo, se non indispensabili), e la tipologia di substrato consentono la colonizzazione da parte della comunità bentonica (macroinvertebrati e alghe incrostanti), assicurando il continuum fluviale ecologico;
- l'inserimento paesaggistico di questo tipo di opere risulta di fatto ideale, viste le caratteristiche di naturalità intrinseche;
- la funzione idraulica di dissipazione dell'energia della corrente non è concentrata in un solo punto (come con briglie o soglie, cui può sostituirsi), ma è distribuita per un tratto lungo quanto la lunghezza stessa della rampa, determinandone anche la resistenza alla corrente;
- la struttura è molto meno "rigida" dei passaggi tecnici, soprattutto se poco o per nulla cementata (rimedio peraltro il più possibile da evitare perché andrebbe a scapito della colonizzazione del benthos e della permeabilità del fondo); questo costituisce in effetti sia un vantaggio, dal momento che piccoli spostamenti o modifiche, se avvengono entro limiti che non inficiano la funzionalità del passaggio, sono ben assorbiti dalla struttura ed anzi possono renderla anche più stabile in una sorta di autoassestamento, ma può costituire anche uno svantaggio (come sarà discusso più avanti);
- il trasporto solido del materiale fine sospeso non si arresta a monte, ma continua attraverso la rampa; non solo, ma anche il trasporto di materiale grossolano, in condizioni idrologiche favorevoli, viene riattivato o comunque facilitato, consentendo la "pulizia" della rampa e del bacino a monte, meccanismo questo praticamente impossibile da innescare nel caso di passaggi tecnici come i passaggi a bacini successivi, dove la dimensione dei setti e delle fessure sono definiti in una struttura rigida, in cui il materiale grossolano giunto nel passaggio può bloccarsi, intrappolare ed essere intrappolato da altro materiale rimasto nei bacini, intasando il passaggio con effetti negativi sulla sua funzionalità ed anche possibili danni alla struttura;
- questo tipo di opere normalmente richiede uno sforzo economico molto meno gravoso rispetto ai passaggi tecnici, costando almeno la metà. È evidente che comunque il costo di realizzazione di una rampa dipende fortemente dalle sue dimensioni.

Per quanto concerne gli svantaggi legati a questo tipo di opere, il primo riguarda i limiti di fattibilità delle rampe in pietrame, che richiedono pendenze non elevate dell'alveo e dislivelli non troppo elevati, per questo non possono sempre sostituirsi alle briglie classiche. Inoltre, nella gran parte dei casi, in cui la rampa viene costruita con lo scopo primario di rendere valicabile dai pesci una briglia od una soglia in un corso d'acqua di grandi dimensioni, accade che, per questione di costi e di una ben superiore difficoltà tecnica e logistica, essa venga realizzata esclusivamente in una piccola porzione dell'alveo, perdendo la possibilità di sostituirsi completamente alla briglia preesistente.

Un ulteriore svantaggio che, in realtà, è in parte (come già discusso) anche un vantaggio, è la minore "rigidità" di una rampa in pietrame rispetto a passaggi tecnici. Questa, infatti, comporta la necessità di monitorare attentamente il comportamento della rampa sia alla posa, sia per un periodo ragionevolmente lungo dopo la posa, per verificare se occorrono ulteriori operazioni di bloccaggio dei massi, oppure modifiche alla loro disposizione e alla struttura. Il corretto dimensionamento dell'opera e l'opportuno ancoraggio dei massi con pali in legno, profilati in metallo o tramite legature con fune d'acciaio, sono essenziali per evitare impatti tali da comprometterne il funzionamento.

Questo tipo di passaggio, inoltre, non è adatto alle zone fluviali a Ciprinidi a deposizione fitofila, cioè sostanzialmente agli ambienti di bassa pianura, dal momento che mima tipologie idraulico-morfologiche naturalmente più tipiche di ambienti di alta pianura, di fondovalle o di montagna.

Infine, a differenza del passaggio a bacini successivi con forme regolari, in cui la portata transitante

è ben definita, con le rampe le portate transittanti sono soggette a variazioni anche importanti nel caso in cui si abbiano livelli idrici di monte variabili.

Raccomandazioni, accorgimenti e soluzioni migliorative

Si sottolinea nuovamente che, per la realizzazione di rampe funzionanti sia come passaggi sia come opere di contenimento antierosivo, occorre curare con particolare attenzione i seguenti aspetti:

- il dimensionamento dei massi e delle barre o profilati di fissaggio (il loro sottodimensionamento infatti comporterebbe non solo una mancata funzionalità idraulica e dunque biologica di passaggio, ma anche l'instabilità della struttura, che potrebbe essere rapidamente modificata ed anche scalzata dalla corrente nel breve periodo, ad opera delle piene);
- il dislivello da superare, che non deve essere eccessivo;
- il ricorso alla cementazione della struttura, che potrebbe diventare estremamente rigida ed impermeabile, perdendo sia la propria capacità di autoassestamento sia l'idoneità ad essere colonizzata dal benthos e dunque a naturalizzarsi.

RIPRISTINO DELLA PERCORRIBILITÀ DEL TORRENTE MARGORABBIA (VA)

Titolo del lavoro: Progetto Interreg IIIA - Conservazione e ripopolamento della Trota Marmorata nel bacino idrografico del Fiume Ticino - Azione 4 - Interventi di diversificazione fluviale

Committente: Provincia di Varese - Settore Politiche per l'Agricoltura Gestione Faunistica

Progettisti: GRAIA srl

Anno di progettazione: 2006

Anno di realizzazione: 2006

L'intervento di diversificazione illustrato di seguito costituisce una delle azioni del progetto Interreg IIIA, denominato "Conservazione e ripopolamento della trota marmorata nel bacino idrografico del Fiume Ticino", realizzato nel periodo 2005-2007 dalla Provincia di Varese, con la consulenza tecnico-scientifica della GRAIA srl, e già illustrato brevemente all'interno della scheda di progetto relativa al passaggio a bacini successivi costruito a Ponte Tresa sul Fiume Tresa.

La scelta del Torrente Margorabbia come corso d'acqua su cui realizzare gli interventi di diversificazione dell'habitat è dovuta alla sua vocazione naturale ad ospitare specie di grande interesse conservazionistico, come la trota marmorata, alla sua connessione diretta con il Lago Maggiore e all'urgenza di intervenire per minimizzare l'impatto dei numerosi interventi di artificializzazione (prevalentemente scogliere e briglie) che ne hanno trasformato l'ambiente acquatico rendendolo via via meno idoneo ad ospitare popolazioni ittiche in grado di automantenersi, in particolare quelle di specie vagili, come la marmorata appunto.



AREA DI PROGETTO

L'intervento illustrato riguarda il tratto terminale del Torrente Margorabbia.

Nel corso degli ultimi 30 anni il torrente è stato interessato da interventi di ricalibratura dell'alveo e di protezione spondale, finalizzati a ridurre il rischio di esondazione e a prevenire l'erosione delle sponde, a protezione degli insediamenti presenti nelle aree adiacenti.

Torrente Margorabbia nel tratto interessato dall'intervento.



Questi interventi, se da un lato hanno portato ad un significativo aumento del grado di sicurezza, dall'altro hanno provocato un progressivo impoverimento delle caratteristiche ambientali del corso d'acqua, rettificandone il tracciato, riducendo drasticamente il numero di rifugi naturali per i pesci e introducendo una generale banalizzazione del corso d'acqua. Inoltre, la realizzazione di svariate opere trasversali (briglie e soglie) spesso invalicabili da parte della fauna ittica ha indotto un'elevata frammentazione di tutto il tratto in esame. Quest'ultimo, lungo circa 6,5 km, presentava 27 discontinuità artificiali, prevalentemente costituite da briglie di ritenzione con struttura in massi cementati o in massi ciclopici. L'altezza media del salto era di circa 80 cm, con picchi massimi di 150 cm e di 210 cm.

OBIETTIVI

Obiettivo del progetto era il ripristino della percorribilità da parte dei pesci nel tratto di foce, lungo circa 2 km, del Torrente Margorabbia, immissario del Lago Maggiore. Ulteriore obiettivo era anche la diversificazione dell'habitat, estremamente banalizzato in seguito alla canalizzazione e cementificazione dell'alveo.

PROGETTAZIONE

Il progetto ha riguardato due segmenti fluviali. Il primo, in località "Ponte del Cucco", è lungo circa 500 m. Il secondo si trova invece poco più a valle, in località Cascina Prodzzi ed è lungo complessivamente 700 m. La realizzazione degli interventi in questi tratti ha reso di fatto nuovamente percorribile ed idoneo alla colonizzazione da parte dei pesci un troncone fluviale di circa 2 km.

Le tipologie di intervento adottate sono sostanzialmente tre:

- posa di massi al piede delle scogliere esistenti;
- introduzione di massi in alveo;
- realizzazione di rampe in pietrame.

1. e 2. Rappresentazione grafica (planimetria e profilo longitudinale) di una rampa-tipo, valido per tutte le rampe realizzate nel caso presente.

3. Briglia sul Torrente Margorabbia prima della realizzazione della rampa in pietrame.

4. e 5. Rampa in pietrame costruita e funzionante.



I primi due interventi avevano lo scopo di diversificare l'habitat per renderlo vocato ad ospitare biocenosi acquatiche, tra cui i pesci, maggiormente diversificate e abbondanti. In particolare, la posa di massi al piede di scogliere esistenti era finalizzata ad aumentare la disponibilità di rifugi per la fauna ittica, creando ambienti idonei allo sviluppo di una comunità macrobentonica ben diversificata e conferendo al tempo stesso maggiore stabilità alla struttura esistente. L'introduzione di massi in alveo aveva lo scopo di creare buche e meandri, formare rifugi per la fauna ittica (specialmente in occasione delle piene), diversificare l'habitat fluviale, favorire la colonizzazione di invertebrati e la deposizione delle uova da parte dei pesci e favorire al contempo la protezione spondale.

La terza tipologia di intervento doveva invece ripristinare la continuità ecologica, e dunque anche la percorribilità da parte dei pesci, del tratto fluviale di interesse. Le rampe in pietrame avrebbero da un lato ridotto l'azione erosiva della corrente e stabilizzato l'alveo, e dall'altro avrebbero ripristinato la continuità ecologica in corrispondenza di sbarramenti artificiali invalicabili da parte della fauna ittica. Le rampe sono state tutte progettate come rampe in massi posizionate a valle della briglia e di larghezza inferiore alla larghezza dell'alveo di magra del corso d'acqua.

REALIZZAZIONE

Nella totalità dei casi delle briglie in corrispondenza delle quali è stata realizzata una rampa in pietrame, questa è stata posizionata in corrispondenza della gaveta esistente (in qualche caso leggermente rimodellata), al fine di creare e sfruttare una traccia di flusso preferenziale dell'acqua, sempre attivo, anche in condizioni idrologiche di magra spinta.



7.3.4.3.3 Passaggi in condotta

Le condotte, o sottopassi, sono una tipologia di manufatto molto diffusa all'interno del reticolo idrografico naturale. Tradizionalmente esse vengono progettate e realizzate tenendo conto esclusivamente della loro funzione idraulica ed ignorando le esigenze dell'ecosistema fluviale, tantomeno della fauna ittica. In effetti, se non adeguatamente progettate, installate e/o mantenute, esse possono costituire veri e propri punti di frammentazione della continuità fluviale, in particolare possono risultare impercorribili dai pesci; al contrario, se ben progettate, installate e mantenute, tenendo conto anche della loro funzione ecologica di collegamento tra due tratti di corso d'acqua, esse possono fungere da passaggi per pesci, se non addirittura da veri e propri corridoi ecologici.

In genere, le condotte già realizzate costituiscono nella pratica vere e proprie barriere al passaggio in risalita dei pesci: esse sono caratterizzate da una distribuzione quasi uniforme dell'acqua nell'alveo artificiale che determina, in condizioni idrologiche di magra, un battente idrico troppo esiguo per consentire il passaggio dei pesci, mentre in condizione di morbida si raggiungono velocità di corrente troppo elevate, favorite dalla modesta scabrezza dei substrati, ben superiori alle capacità natatorie della fauna ittica. In queste condizioni, spesso aggravate dalla lunghezza dei manufatti e dalla pendenza eccessiva, oltre che dall'uniformità delle condizioni di velocità, pendenza e profondità lungo tutta la condotta, priva di buche dove poter riposare prima di riprendere la risalita, i pesci sono impossibilitati ad attraversare le condotte. Un ulteriore ostacolo alla risalita dei pesci può essere determinato dal posizionamento della condotta rispetto al corso d'acqua; sono infatti numerosi i casi in cui l'uscita di valle della condotta si trova in posizione sopraelevata rispetto al livello dell'acqua nel tratto di valle del corso d'acqua, determinando un salto non valicabile dalla gran parte, se non da tutti i pesci. Inoltre, in diversi casi, condotte non adeguatamente dimensionate tendono a dare luogo ad un effetto "collo di bottiglia", cioè creano restringimenti suscettibili di intasamento, se realizzati in tratti fluviali caratterizzati da notevole trasporto solido. Accade così che i materiali accumulatisi all'imbocco di monte della condotta creino uno sbarramento invalicabile dai pesci, oltre a favorire le esondazioni in occasione di eventi alluvionali eccezionali.



Condotta

Caratteristiche e dimensionamento

Esiste una vasta produzione di letteratura internazionale sul tema dei passaggi in condotta, che sonda tutti i diversi aspetti connessi con la progettazione e la realizzazione di questo tipo di passaggi, di ordine biologico, idraulico, ingegneristico. La maggior parte della letteratura disponibile nord americana, di fatto la più ricca, riguarda i passaggi per Salmonidi adulti di grandi dimensioni, noti per essere grandi nuotatori e saltatori (Andermeier *et al.*, 2004; ADFG & ADT, 2001; Bates *et al.*, 1999; WDFW, 1999; Baker & Votapka, 1990; Dane, 1978).

La realtà del nostro territorio regionale impone, evidentemente, caratteristiche idraulico-morfologiche ai passaggi in condotta che ne consentano l'attraversamento in risalita da parte di specie ittiche dalle capacità natatorie e di salto più varie, nella gran parte dei casi ben lontane da quelle dei Salmonidi.

Per quel che concerne il dimensionamento di un passaggio in condotta, laddove esso debba

essere realizzato *ex novo* o in sostituzione di una condotta esistente, le grandezze in gioco sono sostanzialmente:

- la lunghezza della condotta;
- il diametro della condotta;
- la velocità della corrente;
- la pendenza della condotta;
- la scabrezza del fondo bagnato della condotta.

Questi parametri devono essere valutati e aggiustati tenendo conto delle condizioni sito-specifiche legate all'andamento delle portate e alla fauna ittica presente ed anche tenendo conto delle relazioni che legano tra loro i parametri stessi.

La velocità della corrente, per esempio, deve essere tale da non eccedere le capacità natatorie delle specie ittiche in questione e comunque deve essere inferiore ai 30 cm/s. La lunghezza della condotta, di fatto, può essere determinata considerando la distanza massima che può essere percorsa da quella tra le specie *target* meno abile nel nuoto e tenendo conto della relazione (già vista nel paragrafo relativo alle capacità natatorie dei pesci) che lega la distanza massima percorribile da un pesce alla velocità di corrente, alla velocità di nuoto e al tempo di resistenza del pesce a tale velocità di nuoto.

La stessa velocità di corrente, peraltro, è correlata al diametro della condotta, alla pendenza e alla scabrezza, attraverso l'equazione di Manning (Boubee *et al.*, 1999):

$$V = \frac{R^{0.67} S^{0.5}}{N}$$

dove:

V = velocità di corrente; R = raggio idraulico medio (Area della sezione trasversale dell'acqua nella condotta, diviso per il perimetro della condotta in contatto con l'acqua); S = pendenza (*Slope*); N = coefficiente di scabrezza di Manning, già visto per le rampe in pietrame.

Solitamente si possono variare i parametri di diametro, scabrezza e pendenza fino ad ottenere la velocità media (della sezione trasversale) desiderata. In alcuni casi quest'ultima non è comunque raggiungibile e bisogna ricorrere ad ulteriori misure:

1. verificando che le condizioni ottimali di velocità di corrente siano quantomeno raggiunte in una porzione della sezione (quella laterale, caratterizzata da un deflusso più lento rispetto a quella centrale) e si mantengano tali per tutta la lunghezza della condotta. E' stato in effetti osservato (Behlke *et al.*, 1991) che i pesci nuotano per lo più in queste zone risalendo;
2. altrimenti, contemplando la necessità di ricreare, all'interno della condotta, zone a corrente molto lenta per il riposo dei pesci e/o sistemi di dissipazione dell'energia della corrente, come i bacini successivi.

Sulla base di quanto detto, risulta evidente che le condotte ideali dovrebbero rispecchiare le condizioni naturali del corso d'acqua di morfologia dell'alveo, tipologia, granulometria e natura del substrato, pendenza e distanza tra le zone di riposo. Per questo motivo, le condotte ad arco sono certamente la tipologia di condotta auspicabile in assoluto, in quanto non alterano il letto fluviale. In questo caso, si deve avere soprattutto l'accortezza di dimensionare il diametro della condotta in maniera tale che essa non risulti troppo stretta, altrimenti ciò potrebbe causare forti problemi di erosione.

Un'altra tipologia di condotta molto diffusa è quella a tubo. In questi casi si possono prevedere diversi tipi di soluzioni utili a dissipare l'energia della corrente e favorire la risalita dei pesci:

- innanzitutto, si può ricorrere all'impiego di tubi corrugati/ondulati, che però potrebbero aumentare la turbolenza locale e rivelarsi poco idonei per le specie di piccola taglia o le classi giovanili delle specie di più grossa taglia;
- si può anche interrare parzialmente il tubo, ricreando al suo interno un fondo simile a quello naturale del letto fluviale, composto del medesimo materiale reperito in loco. Ciò è fattibile solitamente quando si è in condizioni di scarsa pendenza e permette, peraltro, di conformare il profilo della sezione, in modo da prevedere la valicabilità del passaggio anche in condizioni

di magra, per esempio definendo una sezione a “V”;

- si può altrimenti ricorrere, laddove le pendenze siano necessariamente piuttosto elevate e/o le capacità natatorie delle specie *target* siano invece piuttosto scarse, alla realizzazione di veri e propri passaggi per pesci in condotta, suddividendo la sezione bagnata in bacini successivi tramite setti, secondo le modalità progettuali per i passaggi a bacini successivi, sfruttando, in questo modo, la funzione idraulica dei bacini di creare una successione di zone a flusso lento e non turbolento, in cui i pesci possono riposarsi, prima di affrontare un nuovo “salto”;
- si può anche prevedere il ricorso ad una soluzione che coniuga la ricostruzione dell’alveo naturale con i bacini successivi, come nell’esempio riportato nella scheda seguente, in cui, occorre rendere ittiocompatibile una condotta preesistente, altrimenti non valicabile dai pesci, anche a causa del dislivello complessivo che si realizzava tra monte e valle condotta.

Esistono poi altri tipi di condotta, come le condotte a scatola (in tubi di cemento armato a sezione rettangolare), per le quali valgono le soluzioni prospettate per le condotte a tubo. In ogni caso specifico, debbono essere comunque valutate tutte le condizioni al contorno ed i fattori limitanti, al fine di progettare soluzioni *ad hoc*.

Vantaggi e svantaggi di questo tipo di passaggio

I passaggi in condotta rendono di fatto ittiocompatibile una delle tipologie di manufatti territorialmente più diffuse e tradizionalmente non concepite per essere compatibili con la risalita dei pesci. Di fatto, le soluzioni di compatibilizzazione con i pesci delle condotte sono talmente tante e varie, che nella gran parte delle situazioni possono essere studiati sistemi di ittiocompatibilizzazione che non richiedono un grosso impegno economico.

Anche in caso di neorealizzazione della condotta, gli accorgimenti per renderla ittiocompatibile sono in genere poco costosi.

Per quanto riguarda gli svantaggi di questo tipo di passaggio, essi risiedono nel fatto che interrompono la connettività trasversale dell’ecosistema fluviale ed il buio, che si stabilisce al loro interno, impedisce lo sviluppo della componente vegetale acquatica, per cui è importante che esse siano il più brevi possibile, essendo ambienti comunque inospitali per i pesci, poichè poveri dal punto di vista trofico.

Raccomandazioni, accorgimenti e soluzioni migliorative

Come già si è accennato nella descrizione, questo tipo di passaggio trova in ogni situazione sito-specifica la possibilità di studiare soluzioni *ad hoc*, definibili solo sulla base di un’attenta analisi ambientale, idraulica e biologica.

In particolare, per la tipologia di passaggio in condotta che prevede l’utilizzo di setti per la formazione di bacini successivi, deve essere attentamente valutato il materiale con cui sono fatti i setti, la loro installazione e le esigenze e possibilità di manutenzione del passaggio, in virtù del trasporto solido prevedibile. Potrebbe, per esempio, essere valutata l’ipotesi di installare setti mobili alloggiati entro guide permanenti, in modo da consentire una migliore manutenzione del passaggio e la facile sostituzione di setti eventualmente danneggiati.

RIPRISTINO DELLA PERCORRIBILITÀ ITTICA DEL CANALE BRABBIA (VA)

Titolo del lavoro: Progetto Lagorà - Il lago in piazza: centralità di un piccolo lago prealpino nella rete ecologica naturale. Attività di riqualificazione del Canale Brabbia

Committente: Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

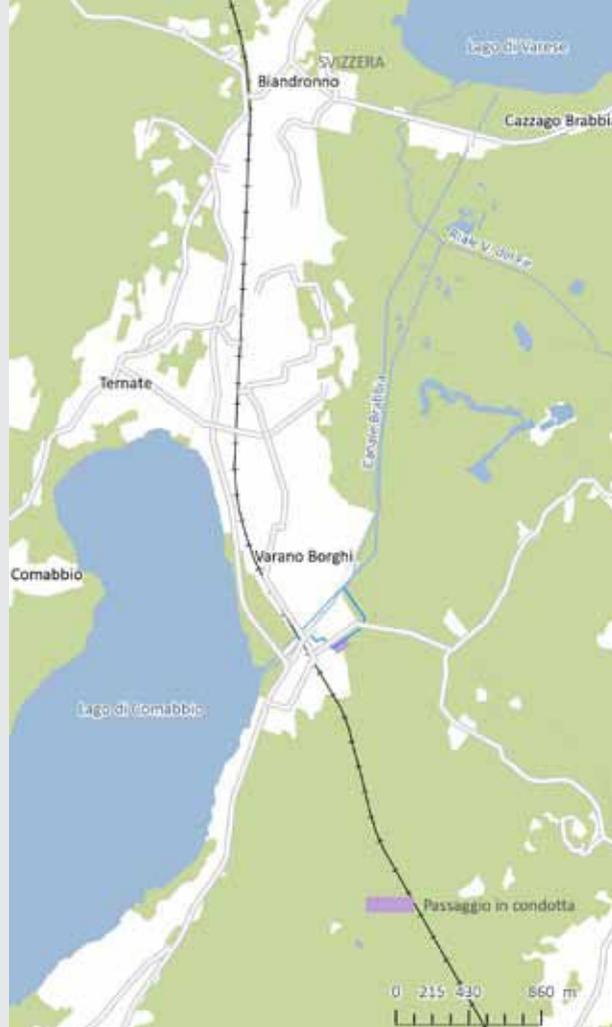
Altri Enti coinvolti: Fondazione Cariplo (Finanziatore), Provincia di Varese, ARPA e comuni di Varano Borghi, Ternate, Vergiate, Mercallo, Comabbio

Progettisti: GRAIA srl

Anno di progettazione: 2007

Anno di realizzazione: 2008

L'intervento illustrato in questa scheda rientra in un più ampio progetto di riqualificazione ecologica del SIC "Lago di Comabbio", realizzato con finanziamento della Fondazione Cariplo. Tale progetto comprendeva una serie di attività, tra cui: la biomanipolazione della vegetazione acquatica lacustre per il contenimento delle essenze esotiche ed ripristino della naturale fascia di canneto e lamineto; il contenimento del siluro; la modellizzazione del processo di interrimento del lago; la valutazione del carico inquinante puntiforme e diffuso recapitato al lago; attività di divulgazione e sensibilizzazione della popolazione. A tutto ciò si aggiungevano uno studio di fattibilità della riconnessione ecologica del SIC con i vicini Lago di Varese e Palude Brabbia e l'attività di



riqualificazione del Canale Brabbia, di cui questa scheda presenta uno stralcio.

AREA DI PROGETTO

L'area di progetto è rappresentata dal tratto di Canale Brabbia, o meglio del diversivo del Canale Brabbia, interessato dalla



presenza di una discontinuità che impediva ai pesci provenienti dal tratto di valle della Brabbia (e dunque anche dal Lago di Varese) di raggiungere il Comabbio. Il Canale Brabbia (emissario del Lago di Comabbio) è, infatti, anche immissario del Lago di Varese, costituendo di fatto l'unico elemento di connettività idrica tra i due biotopi.

Come si vede dalla mappa nella pagina a fianco, il Canale Brabbia attraversa con percorso rettilineo un'area industriale; qui esso è tombinato per un tratto di circa 400 m, nel quale è ricompreso anche un salto alto circa 5 m che doveva essere in origine sfruttato come turbina per le esigenze dello stabilimento tessile di Varano Borghi. Questo ostacolo, in particolare, rende impossibile la risalita dei pesci che invece in passato potevano raggiungere le acque del Lago di Comabbio attraverso il canale.

A monte dell'area industriale è presente un manufatto che deriva una parte delle acque della Brabbia in un diversivo, chiamato in passato "Via dei pesci", che scorre tombinato sotto gli stabilimenti ed anche fuori dall'area industriale, in due tratti discontinui, di cui quello più a monte all'interno di una condotta in cls a sezione circolare. Il diversivo va poi a confluire di nuovo nella Brabbia, a valle del punto di discontinuità su quest'ultima.

Tale "via dei pesci" era di fatto impercorribile dai pesci a causa dei seguenti elementi di criticità:

- uno scolmatore fognario, per un guasto, vi scaricava con

continuità un rivolo di acque nere;

- nel tratto in condotta era presente uno stramazzo e la forma della condotta non forniva un battente idrico adeguato al nuoto dei pesci;

- a valle della condotta il corso d'acqua si presentava banalizzato.

OBIETTIVI

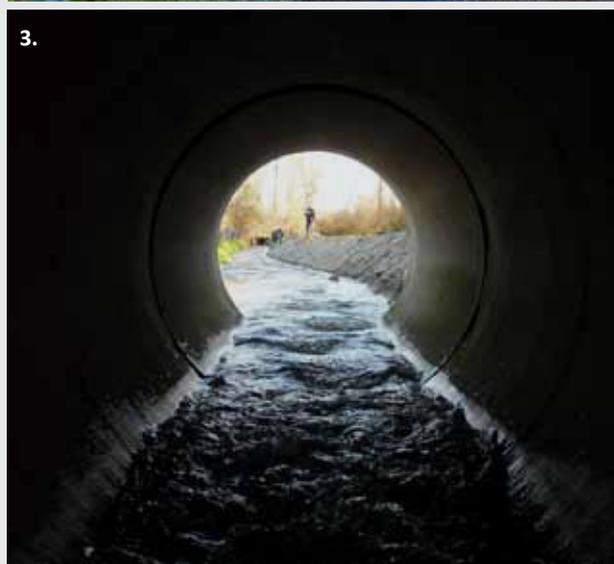
Obiettivo dell'intervento era il ripristino della continuità biologica del Canale Brabbia, e dunque del corridoio ecologico acquatico di collegamento tra il Lago di Comabbio ed il Lago di Varese, stabilendo la percorribilità ittica del diversivo "via dei pesci", la cui mitigazione risultava concretamente più fattibile rispetto alla mitigazione di un salto di 5 m sull'asta principale del Canale Brabbia. La creazione di un corridoio acquatico che permettesse il passaggio dei pesci, lo scambio genico tra popolazioni e la ricolonizzazione da parte di specie oggi presenti nel Lago di Comabbio con popolazioni alquanto rarefatte si imponevano, infatti, come interventi ineludibili in un quadro di riequilibrio della comunità ittica lacustre e di supporto delle specie ittiche indigene maggiormente minacciate.

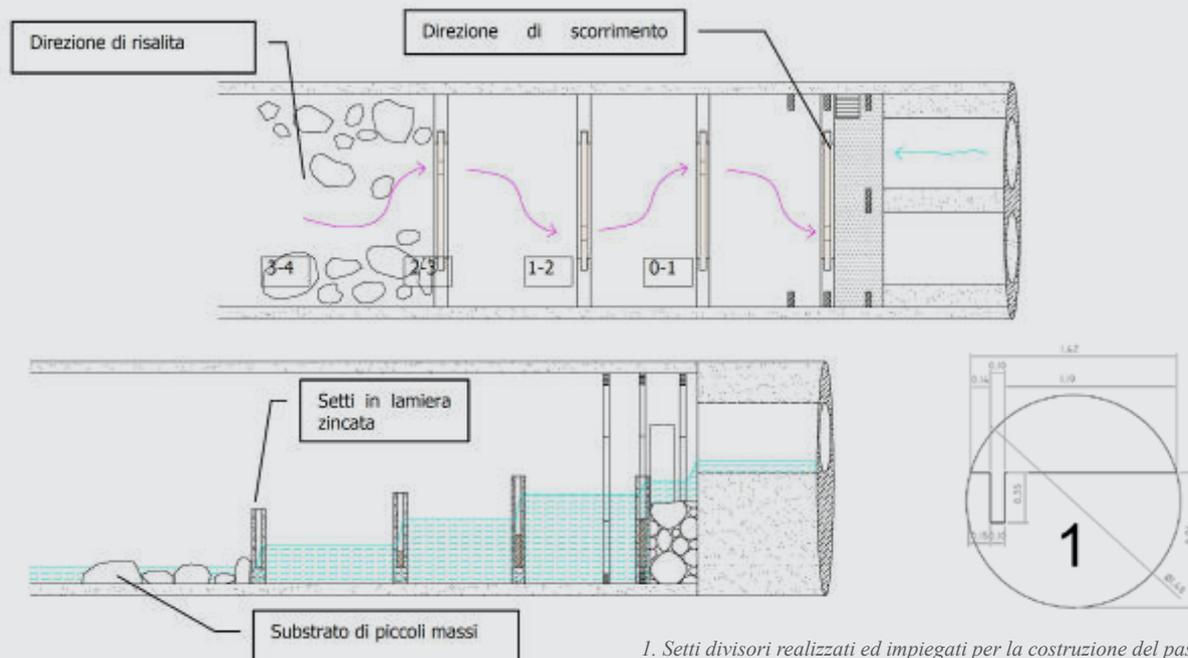
1. Imbocco del Canale Brabbia in sinistra orografica e origine del diversivo denominato "Via dei Pesci" in destra orografica.

3. Porzione terminale del tratto intubato visto dall'interno della condotta, prima dell'intervento.

2. Salto di circa 1 m presente all'interno della condotta, prima dell'intervento.

4. Tratto subito a valle di quello intubato, prima dell'intervento.





PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE

Al fine di rendere efficace come “via dei pesci” il diversivo del Canale Brabbia, occorre:

1. collettare lo scarico fognario presente all’ingresso della diramazione;
2. deframmentare il corso d’acqua nel punto in cui risultava invalicabile dai pesci;
3. rendere percorribile il tratto in condotta.

1. Riguardo al problema dello scarico puntiforme nel diversivo, in seguito a sopralluoghi, è stato possibile individuare la fonte inquinante, identificata in uno sfioratore di pioggia a servizio delle reti fognarie comunali afferenti al collettore consortile del bacino del Lago di Varese. Tale sfioratore era malfunzionante a causa di una paratoia di legno danneggiata. Contattato l’ente di gestione del collettore consortile, la paratoia è stata sostituita ed il problema eliminato.

2. Per deframmentare il tratto di diversivo interessato dallo stramazzone e dalla condotta, è stato progettato e poi realizzato un passaggio per pesci, suddividendo la sezione bagnata in bacini successivi tramite setti, secondo le modalità progettuali per i passaggi a bacini successivi, sfruttando, in questo modo, la funzione idraulica dei bacini di creare una successione di zone a flusso lento e non turbolento, in cui i pesci possono riposarsi, prima di affrontare un nuovo “salto”.

3. Per diversificare il tratto a valle della condotta, sono stati posati ciottoli in alveo alla rinfusa e sono state messe a dimora piantine di essenze arboree e arbustive native locali sulla fascia spondale.

I lavori sono stati realizzati nei mesi di Novembre e Dicembre 2008. Le fotografie illustrano le fasi di cantiere e il risultato finale dell’intervento.

1. Setti divisori realizzati ed impiegati per la costruzione del passaggio per pesci in condotta.
2. Fase di costruzione del passaggio.
3. Passaggio costruito.
4. Tratto a valle della condotta riqualificato.



7.3.4.3.4 Scale tipo Denil

Questo tipo di passaggio è stato progettato per la prima volta dall'ingegnere belga G. Denil (da cui prende il nome) alla fine del XIX secolo (Denil, 1909). Per il loro principio di funzionamento, tali passaggi sono oggi anche noti con il nome di "scale a rallentamento o contro corrente".

Il passaggio per pesci è costituito, in questo caso, da un canale lineare a forte pendenza, fatto di legno, calcestruzzo o acciaio, in cui sono disposti deflettori ad intervalli regolari e relativamente brevi, con un'angolazione contro la direzione della corrente. I giri d'acqua, che si creano tra i deflettori, hanno la funzione di dissipare l'energia e dunque rallentare la velocità di corrente, che diviene particolarmente lenta nella parte inferiore dell'apertura del deflettore (Lonnebjerg, 1980; Krüger, 1994). Proprio grazie a questa caratteristica, i passaggi di questo tipo possono essere anche molto ripidi, rispetto ad altri tipi di passaggi per pesci, rendendoli utili a superare sbarramenti piuttosto elevati in tratte relativamente brevi. Proprio la compattezza strutturale e la possibilità di prefabbricarle all'asciutto e dunque installarle una volta assemblate, rendono utilizzabili le scale Denil nei casi di sbarramenti preesistenti e nei casi in cui lo spazio disponibile sia fortemente ridotto.

La prima scala progettata da Denil aveva deflettori di forma concava. A partire da questa, furono sviluppate negli anni successivi numerose variazioni; tra i diversi tipi, il cosiddetto "standard", a deflettori piani con sezioni a forma di U, come quello illustrato nel disegno, si è dimostrato il più funzionale e dunque, in seguito, anche il più diffuso. Per tale motivo, il dimensionamento dell'opera è di seguito discusso, considerando unicamente il passaggio Denil standard.

Caratteristiche e dimensionamento

I primi presupposti essenziali, che devono essere tenuti presenti nella progettazione e nel dimensionamento di una scala tipo Denil, sono:

1. Non sono ammesse variazioni rispetto al profilo rettilineo del passaggio. Le curve influirebbero negativamente sul flusso d'acqua e dunque sulla funzionalità dell'opera.
2. Forma, inclinazione e distanza tra le quinte giocano un ruolo molto importante nel determinare l'efficienza funzionale della scala.
3. Il pesce attraversa il passaggio senza soste, dal momento che non può fermarsi tra un deflettore e l'altro. Ciò fa presupporre che questo tipo di opera possa essere piuttosto selettivo per le specie resistenti e per gli stadi vitali adulti.

Per ovviare a quest'ultimo inconveniente, laddove il passaggio diventi troppo ripido e lungo da poter essere superato tutto in una volta – a questo proposito rivestono un ruolo essenziale per la progettazione gli approfondimenti sulla composizione della comunità ittica e sulle capacità natatorie e la resistenza delle singole specie - possono essere create delle interruzioni, intervallando tratti di scala Denil con zone di *pool*, dove i pesci possano riposare e sostare prima di intraprendere di nuovo la risalita (si veda il disegno). Le dimensioni della *pool* devono essere tali da abbattere la turbolenza dell'acqua ed anche la lunghezza dei tratti di scala, intervallati dalle *pool*, è un parametro determinante: in linea di massima, nel caso in cui le specie *target* siano Salmonidi, è preferibile intervallare una *pool* ogni 10-12 m di scala Denil; nel caso, invece, in cui tra le specie *target* vi siano anche Ciprinidi, occorre accorciare gli intervalli ad ogni 6-8 m (FAO-DVWK, 2002). Questo aspetto è di grande interesse, in quanto consente anche la progettazione e la realizzazione di *pool* piuttosto naturaliformi e vegetate. È evidente, però, che quest'ultima soluzione comporterebbe la perdita di uno dei principali vantaggi di questo tipo di passaggio, e cioè la fattibilità in piccoli spazi; è dunque molto più probabile che, laddove si disponga di un'area più vasta per costruire il passaggio, la scelta progettuale ricada su una tipologia a bacini successivi piuttosto che Denil.

La pendenza del canale è un ulteriore parametro fondamentale: essa di solito si aggira tra il 10 ed il 20 %. In realtà pendenza e larghezza del canale devono considerarsi interdipendenti, se si vogliono mantenere condizioni idrauliche favorevoli alla risalita dei pesci (Lariniér, 1983). A sua volta, la larghezza deve essere determinata in funzione della portata disponibile e delle specie *target*: per esempio, in presenza di trota fario e Ciprinidi, una larghezza tra 0,6 e 0,9 m è sufficiente. Con portate elevate può anche rivelarsi opportuno affiancare due o più passaggi.

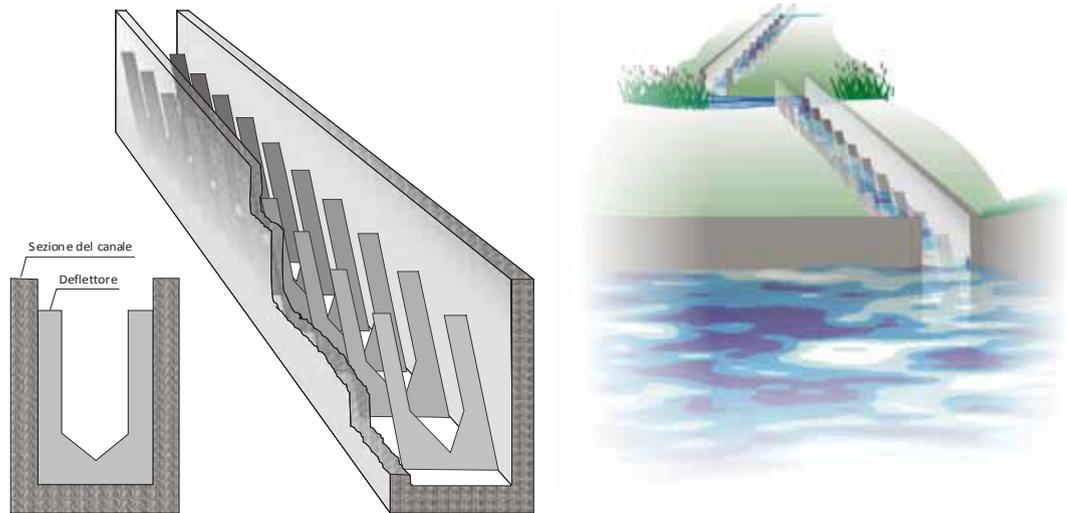
I deflettori sono preferibilmente di legno ed i loro profili devono essere accuratamente arrotondati, in modo da non ferire i pesci. Essi sono inclinati nel verso opposto alla corrente e con un'angolazione di

45° rispetto al fondo del canale ed hanno una sezione ad U con la parte inferiore triangolare. Proprio la larghezza della sezione e le dimensioni della sua parte inferiore sono parametri fondamentali, in quanto influiscono direttamente sulle condizioni di corrente.

Riguardo ai valori guida che devono essere assunti per i diversi parametri e riguardo ai calcoli idraulici, si rimanda alle seguenti pubblicazioni, dove sono reperibili tutti gli approfondimenti e le specifiche necessari alla progettazione (Larinier, 2002; FAO-DVWK, 2002).

L'acqua in ingresso del canale dovrebbe sempre raggiungerlo, scorrendo nella medesima direzione dell'asse principale del canale. Strette e curve, prima dell'ingresso, sono da ritenersi negative per il funzionamento della scala. Per quanto riguarda l'uscita dell'acqua dal canale, cioè l'ingresso dei pesci, questa deve essere sempre posta ad un livello che ne garantisca la continuità con il tratto di valle; in realtà, esso dovrebbe preferibilmente essere a contatto con il fondo dell'alveo, in modo da agevolare l'ingresso dei pesci che si muovono sul fondo.

Rappresentazione grafica di una scala tipo Denil.



Vantaggi e svantaggi di questo tipo di passaggio

I vantaggi nell'impiego di questo tipo di passaggio derivano principalmente da queste caratteristiche delle scale tipo Denil:

1. esse possono essere progettate con pendenze particolarmente ripide, per cui sono adatte a situazioni in cui vi sia scarsa disponibilità di spazio per costruire il passaggio per pesci;
2. i diversi elementi costituenti l'opera possono essere prefabbricati;
3. questo tipo di passaggio può essere installato in corrispondenza di dighe preesistenti;
4. se posizionato secondo gli indirizzi di progettazione, non è suscettibile a variazioni nel livello del tratto di valle;
5. crea un buon effetto di richiamo dei pesci nel tratto a valle.

Gli svantaggi di questo tipo di costruzione sono:

1. Una forte suscettibilità alle variazioni nei livelli di monte. Questo, di fatto, costituisce uno dei limiti di maggiore rilevanza, dal momento che, nella pratica, sono consentite unicamente variazioni nell'ordine di 20 cm.
2. La necessità di portate relativamente elevate rispetto ad altri tipi di passaggio.
3. La necessità di compiere controlli e operazioni di manutenzione con regolarità, dal momento che queste scale sono molto suscettibili ai fenomeni di intasamento da detriti, che potrebbero facilmente comprometterne il funzionamento. Per questo motivo è utile, peraltro, che siano considerati nel progetto sistemi agevoli di chiusura dell'ingresso a monte dell'acqua, in modo da consentire tali operazioni.

4. La relativa selettività che il singolo passaggio può dimostrare, a seconda dei parametri e dei criteri di progettazione impiegati. Infatti, sebbene le scale Denil siano tendenzialmente selettive per specie di grossa taglia, buone nuotatrici (come la trota) e per soggetti adulti, cioè per animali con buone capacità natatorie e resistenti, in realtà è stato dimostrato che, a seconda dei parametri costruttivi con cui sono realizzate, le scale Denil possono essere attraversate da una grande varietà di specie (Clay, 1995; Schwalme *et al.*, 1985; Katopodis *et al.*, 1991).

Raccomandazioni, accorgimenti e soluzioni migliorative

Uno dei motivi, per cui le scale Denil sono poco impiegate, risiede nella loro selettività a favore di specie e individui più grandi e resistenti. In realtà, possono essere messi in atto accorgimenti e soluzioni che ne favoriscano l'utilizzo da parte di specie e stadi vitali più piccoli e meno resistenti:

- giocando sui parametri di pendenza, lunghezza e larghezza del canale (Mallen-Cooper & Stuart, 2007);
- intervallando tratti più brevi di scala Denil con zone di *pool* per il riposo dei pesci.

È possibile studiare anche soluzioni progettuali che combinano le scale Denil ad altri tipi di passaggio, ma esperienze a riguardo hanno dimostrato che a decidere della funzionalità del passaggio sono comunque i parametri di dimensionamento, piuttosto che la scelta progettuale iniziale (Laine *et al.*, 1998).

7.3.4.3.5 Passaggi specie-specifici: passaggi per anguille

A fianco di passaggi non selettivi o poco selettivi e parallelamente alla ricerca e allo studio di soluzioni sempre più impiegabili ad ampio spettro sulla maggior parte delle specie possibili, esiste anche una branca di ricerca e progettazione di passaggi specie specifici, cioè studiati *ad hoc* per singole specie o gruppi di specie, che possono rivelarsi, nel concreto, più facilmente realizzabili e più significativi dal punto di vista ecologico, che non altri tipi di passaggio.

In questo contesto, risulta quanto mai opportuno occuparsi di una specie in particolare: l'anguilla (*Anguilla anguilla*), sulla quale sono oggi in atto iniziative importanti per la sua conservazione ed incremento in natura. Di fatto, oggi l'anguilla, autoctona in Europa, rischia l'estinzione. I dati resi disponibili dalla letteratura di settore indicano da tempo, infatti, un preoccupante declino dello *stock* di questa specie in tutto il suo areale. Le informazioni più recenti segnalano di fatto che essa è giunta al suo minimo storico, con valori del pescato sia di anguille giovani sia di anguille adulte inferiori al 10%, anche prossimi all'1% in alcuni casi, rispetto a quelli che si registravano negli anni '70 del secolo scorso, quando ancora la specie risultava in buono stato di conservazione. Da allora l'anguilla è stata inserita nelle liste IUCN (International Union for Conservation of Nature), in cui è oggi riconosciuta come specie "Critically Endangered", cioè ad elevato rischio di estinzione in natura. Essa è stata, inoltre, ripetutamente segnalata nei rapporti dell'ICES (International Council for the Exploration of the Sea) come specie a forte rischio, spiegando la propria preoccupazione, non solo con considerazioni di natura ecologica e biologica, ma anche in riferimento all'accresciuta domanda di ceche da parte del mercato asiatico verificatesi negli ultimi anni, che ha comportato l'incremento incontrollato dello sforzo di pesca ed ha condizionato la disponibilità di ceche, sia per i ripopolamenti sia per l'anguillicoltura europea.

Recependo questa preoccupazione, la Commissione Europea ha pubblicato un Piano di Azione comunitario per la gestione degli *stock* di anguilla europea (COM 2003/573); nel novembre 2005 il Parlamento Europeo ha adottato una risoluzione in cui invitava la commissione a presentare immediatamente una proposta di regolamento per la ricostituzione degli *stock* di anguilla europea (COM2005 476 final). Nel 2007 l'Unione Europea ha emanato il Regolamento (CE) N. 1100/2007 del Consiglio del 18 settembre 2007, che istituisce misure per la ricostituzione dello *stock* di anguilla europea, il cui obiettivo è proprio la protezione e l'utilizzo sostenibile della specie. Al fine di raggiungere tale obiettivo, gli Stati membri sono tenuti a sviluppare piani di gestione nazionali per i loro distretti di bacino, predisposti al fine di ridurre la mortalità di origine antropogenica. In accordo con il regolamento europeo, i piani di gestione dovrebbero favorire, con elevata probabilità, una discesa verso il mare di almeno il 40% della biomassa di anguille adulte, definito come la migliore stima della discesa teorica, se lo *stock* fosse completamente libero dall'influenza antropogenica. Il regolamento europeo non quantifica il valore di "probabilità elevata".

Se da un lato, proprio la biologia inusuale dell'anguilla, in particolare il fatto che esista un'unica popolazione di anguilla europea con un unico sito riproduttivo, ha determinato la necessità di un'azione comune a tutto il Continente Europeo a favore della specie, è di nuovo la sua stessa biologia, ed, in particolare, il fatto che le anguille appartenenti a quest'unico *stock* si distribuiscano in tutto il continente, colonizzando mari e risalendo le acque interne un po' ovunque in Europa, a rendere necessaria la predisposizione di piani di gestione locali, calati sulle realtà dei singoli bacini idrografici, in modo da proporsi come strumenti concreti ed efficaci di gestione dell'anguilla, in risposta alle reali condizioni ambientali e di antropizzazione presenti e in contrasto alle minacce, che si impongono localmente.

In linea con questo approccio, in Italia, lo Stato ha affidato alle singole Regioni il compito di redigere piani regionali di gestione dello *stock* di anguilla ed il Piano Regionale Lombardo propone una serie di misure per la salvaguardia e la conservazione della specie, tra cui assume particolare rilievo la deframmentazione fluviale.

Anche in virtù dell'esistenza di un Piano di conservazione dell'anguilla e, dunque, della priorità che essa viene ad assumere in un'ottica di pianificazione, si propone di seguito una tipologia di passaggio specifica per questa specie, ipotizzandone l'eventuale realizzazione in casi estremi, in cui la realizzazione di passaggi non selettivi non è pensabile in tempi brevi o senza impegni economici importanti.

I passaggi per la risalita delle anguille devono evidentemente mirare a favorire la risalita degli stadi giovanili dell'anguilla (ceche e ragani, in primo luogo), dal momento che tali stadi vitali mostrano per eccellenza un comportamento migratorio a risalire, particolarmente concentrato tra giugno-luglio e ottobre. Tipicamente, per la risalita dei corsi d'acqua, le giovani anguille sfruttano le loro capacità non solo natatorie ma, soprattutto, per così dire, "di arrampicamento"; esse sono infatti capaci di risalire tratti a forte pendenza, strisciando tra gli interstizi del substrato oppure nell'erba, sia nell'acqua che fuori dall'acqua, potendo assorbire l'ossigeno atmosferico attraverso l'epidermide (Mitchell & Boubée, 1992). Possono per questo essere concepite per l'anguilla tipologie di passaggi a forte pendenza, estremamente semplificati, sia dal punto di vista del disegno idraulico sia dal punto di vista della tecnologia impiegata (Jellyman, 2007; Verdon *et al.*, 2003 in Dixon Ed, 2003; Procher, 1992; Larinier, 2000 in Marmulla Ed, 2001; Clay, 1995).

Caratteristiche e dimensionamento

La tipologia di passaggio più ampiamente adottata, in corrispondenza di sbarramenti che impongono salti elevati e privi di altri passaggi per pesci, è quella della canaletta per anguille. Si tratta di canalette, appunto, fatte in plastica o metallo, il cui fondo è foderato con un tappeto di erba sintetica o ciuffi di setole, sul quale l'anguilla trova sufficiente presa per risalire strisciando; all'interno della canaletta viene mantenuto un flusso costante di acqua, necessario ad assicurare l'adeguata umidità alle anguille (Kroes & Monden, 2005).

Per quanto concerne il loro dimensionamento, tipicamente le canalette hanno una larghezza variabile tra i 30 ed i 50 cm ed una pendenza da 1:5 a 1:10. La spaziatura tra i ciuffi di setole può essere regolata, per favorire nella risalita i diversi stadi vitali dell'anguilla: una spaziatura di 7 mm è ideale per le ceche; una spaziatura di 14 mm è invece più adatta ai ragani e alle anguille gialle (Legault, 1993 in Larinier, 2002).

Vantaggi e svantaggi di questo tipo di passaggio

Il vantaggio principale di questo tipo di passaggio consiste nel fatto che esso è realizzabile in corrispondenza di sbarramenti esistenti, senza modifiche allo sbarramento stesso. Anche per questo, oltre che per le proprie caratteristiche strutturali, la canaletta per anguille è molto economica. Oltretutto richiede piccoli spazi e bassissimi regimi di portata. Non necessita di una manutenzione frequente, a meno che non preveda sistemi di raccolta in vasca delle anguille risalite, che devono essere periodicamente prelevate e nuovamente liberate.

Per quanto concerne gli svantaggi, evidentemente, il più grande svantaggio consiste nel fatto che questo tipo di strutture è estremamente selettivo; d'altronde la selettività rientra nei principi di funzionamento del passaggio. Anche per la stessa anguilla, la canaletta può rivelarsi selettiva per alcuni stadi vitali. In questo caso, è chiaro che il dimensionamento del passaggio deve essere progettato in dipendenza della localizzazione geografica dello sbarramento di interesse e degli stadi vitali *target*, nel caso specifico.

Raccomandazioni, accorgimenti e soluzioni migliorative

L'aspetto critico per questo tipo di passaggio è rappresentato dall'imbocco di monte. Esso deve, infatti, da un lato garantire un flusso idrico costante nella canaletta, dall'altro non deve permettere che una portata troppo elevata ostacoli le anguille in risalita. Per ovviare a questo problema, si possono studiare diversi tipi di accorgimento, tra cui i due più sperimentati sono i seguenti:

1. il fondo foderato della canaletta ha un profilo della sezione trasversale obliquo (possibilmente del 50%; Larinier, 2002), in questo modo la canaletta può sopportare escursioni di livello anche di 20 cm, mantenendo la propria efficienza, nel consentire la risalita delle anguille che si muovono nella porzione più elevata della sezione.
2. l'estremità superiore della canaletta è situata ad un livello più elevato rispetto al massimo livello di monte dello sbarramento. L'acqua di permeazione è pompata nella canaletta e le anguille che risalgono, giunte in cima, imboccano uno scivolo che le fa cadere direttamente nel tratto di monte del corso d'acqua interrotto, oppure che le convoglia in una vasca di raccolta, dove possono essere agevolmente contate e catturate, per poi essere trasportate più a monte e nuovamente liberate.

Esempio di realizzazione di un passaggio per anguille. Diga di Apremont, Dipartimento della Vandea, Regione della Loira . Passaggio progettato e realizzato da Fish Pass (www.fish-pass.fr)



7.3.4.3.6 Altri tipi di passaggi

Altri tipi di passaggi realizzabili, ma solo in particolari condizioni, sono: la chiusa per pesci e l'ascensore.

Una chiusa per pesci funziona all'incirca secondo il principio di una chiusa per la navigazione; è composta da una camera a monte, situata poco al di sotto del livello dell'acqua del fiume, da una camera a valle di grandi dimensioni e da un condotto inclinato che unisce le due camere. A ciascuna delle estremità delle camere è posizionata una porta automatizzata. Aprendo e chiudendo periodicamente le opere di chiusura, viene variato il livello all'interno della chiusa, permettendo il passaggio dei pesci dalla camera di valle a quella di monte.

Nonostante le reali somiglianze, non si può non sottolineare che le chiuse per la navigazione, anche se eliminano in parte le discontinuità, limitano il passaggio ai pesci, a causa della chiara incompatibilità della regimazione operativa della componente idraulica (Larinier *et al.*, 2002).

Per quanto concerne l'ascensore, il principio di funzionamento si basa su di un sistema meccanico che permette, in una prima fase, di catturare i migratori ai piedi dell'ostacolo, all'interno di una vasca o di un piccolo bacino contenente un'adeguata quantità d'acqua; in un secondo momento avviene il sollevamento del bacino lungo l'ostacolo (ascensore vero e proprio), rilasciando il contenuto nel tratto di fiume a monte (Clay, 1995). Anche in questo caso, i migratori sono attirati verso il bacino di cattura attraverso una portata di attrazione; il sollevamento della cabina, per mezzo di motore, può essere programmato periodicamente, in funzione del numero di pesci che vengono presumibilmente catturati. Riguardo al rilascio dei pesci a monte, l'operazione può avvenire direttamente nel fiume, se la cabina dell'ascensore è posta allo stesso livello del corso d'acqua; in caso di presenza di dislivello, i pesci devono essere rilasciati in un canale appositamente predisposto per il superamento di tale altezza.

Gli ascensori sono realizzati per grandi sbarramenti, soprattutto dighe, che comportano un dislivello troppo elevato da permettere l'impiego delle tipologie standard di passaggi artificiali.

7.3.4.4 Sviluppo grafico della soluzione di progetto

Lo sviluppo grafico della soluzione consiste nella realizzazione di: mappe quotate di inquadramento e di dettaglio; sezioni significative e particolari costruttivi; mappe generali dello sbarramento e del passaggio artificiale per pesci; mappe dettagliate delle estremità a monte e a valle, con eventuali indicazioni di installazione dei dispositivi di monitoraggio.

Una volta scelta la tipologia di passaggio e valutata la fattibilità, si procede alla progettazione e al dimensionamento, tramite sviluppo grafico della soluzione scelta.

7.3.4.5 Verifica del funzionamento idraulico della soluzione di progetto

In questa fase occorre verificare il funzionamento idraulico del passaggio in rapporto ai livelli, con particolare riferimento agli imbocchi di monte e di valle e all'interazione con le altre opere di derivazione. Occorre inoltre dimensionare il passaggio in relazione alla portata di alimentazione e a quella ausiliaria, e verificare il corretto funzionamento idraulico per la gamma dei livelli d'acqua a monte e a valle che saranno riscontrati in periodo di migrazione. I principali parametri da valutare sono: la pendenza media, l'energia dissipata, i dislivelli d'acqua, le velocità massima, il funzionamento dei dispositivi di regolazione.

Si procede dunque alla verifica del funzionamento idraulico del passaggio.

7.3.5 Pianificazione della fase realizzativa e predisposizione della documentazione necessaria

Completata anche la fase prettamente progettuale vanno infine considerate, come ulteriore verifica ed elemento di controllo dell'attività tecnica svolta, le componenti preliminari della successiva fase di realizzazione, per poter determinare la compatibilità tra la soluzione progettata e la sua reale esecuzione o interferenza con il sistema circostante. In questo senso, vanno quindi approfonditi i seguenti aspetti di dettaglio.

Completata la progettazione, si passa alla pianificazione della realizzazione del passaggio e alla predisposizione di tutta la documentazione necessaria.

- Analisi delle modalità esecutive dell'opera con cenni sull'organizzazione dei lavori e cronoprogramma del cantiere, per verificare che le lavorazioni non interferiscano con momenti migratori significativi o impattino pesantemente sull'ecosistema.

- Sviluppo di un piano di manutenzione, ovvero previsione di opere di protezione contro i corpi flottanti e materiale fluitato a valle dell'ostacolo, con indicazione dei periodi dell'anno in cui si dovrà intervenire per la manutenzione ordinaria, generalmente coincidente con il periodo precedente alla migrazione della specie *target*.
- Studio di un piano di collaudo e monitoraggio, per poter testare oggettivamente l'efficacia dell'opera con individuazione, in particolare, della metodologia di controllo, del periodo dell'anno in cui verrà effettuata e del numero di volte con cui si prevede di procedere alla verifica della funzionalità.

A titolo esemplificativo, di seguito si riporta una lista descrittiva della tipologia e dei contenuti minimi della documentazione di progetto, che dovrebbe essere prodotta in sede di autorizzazione.

1. Relazione Tecnica del progetto contenente:

- Descrizione dell'asta fluviale e/o del sistema idrografico di appartenenza, con particolare riferimento alla presenza di altre discontinuità ed alla condizione di frammentazione del corridoio acquatico, con conseguente individuazione dell'importanza strategica dell'opera in progettazione o il suo inserimento in una potenziale deframmentazione in divenire.
- Descrizione dettagliata della localizzazione dello sbarramento di derivazione e informazioni relative all'area di intervento, con indicazione delle caratteristiche plano-altimetriche dei siti, individuazione delle aree di accesso e delle viabilità, sia per le fasi cantieristiche che per le successive attività di controllo, e caratterizzazione dei manufatti esistenti con l'obiettivo di individuare eventuali vincoli al contorno sito-specifici.
- Descrizione dettagliata delle caratteristiche idrauliche e soprattutto di funzionamento dello sbarramento su cui si è chiamati ad intervenire, con l'obiettivo di valutare attentamente la reale condizione idraulica in cui inserire il passaggio artificiale per pesci, ma soprattutto la corretta interazione tra le opere ed i funzionamenti presenti e futuri.
- Considerazioni sul popolamento ittico, atte ad individuare le specie *target*, con relative motivazioni di scelta, e a definire il quadro vincolistico di riferimento per questa componente.
- Indagine sedimentologica, con valutazione del trasporto solido del fiume (natura, importanza e comportamento a livello dell'ostacolo, presenza di zone di interrimento e deposito a monte e valle), da cui si potranno individuare potenziali interferenze o meno dei fenomeni con le opere in progettazione.
- Considerazioni eventuali in merito a: altre peculiarità ambientali dei luoghi, ulteriori usi del fiume, presenza di altre condizioni sensibili; sarà possibile contestualizzare ulteriormente la soluzione da sviluppare dal punto di vista tecnico.
- Quantificazione del Deflusso Minimo Vitale da rilasciare in alveo, individuando le risorse idriche disponibili, anche in relazione ad un utilizzo di una quota parte che alimenti il passaggio artificiale per i pesci, con l'obiettivo di determinare un corretto posizionamento dei rilasci.
- Illustrazione delle motivazioni di localizzazione del passaggio per pesci, come risposta al quadro vincolistico costruito e con particolare riguardo per l'effetto richiamo a valle dello sbarramento.
- Illustrazione degli esiti della verifica di correlazione fra il rilascio del DMV e la quota idrica potenzialmente transitante nel passaggio, con particolare riferimento alla scelta di parzializzazione delle quantità, al loro posizionamento a valle dell'opera, alle modalità di regolazione e soprattutto a quelle di controllo da parte degli organi di vigilanza.
- Illustrazione dettagliata delle motivazioni di scelta della tipologia di passaggio artificiale per pesci adottabile dal progetto e valutazione della sua concreta fattibilità, con un confronto tra le tipologie maggiormente interessanti per il sito di progetto (indicando vantaggi e svantaggi di ciascuna), rispetto alle condizioni sito-specifiche.
- Descrizione dettagliata delle valutazioni tecniche effettuate per individuare, partendo da valori misurati o stimati, le variazioni dei livelli dei peli liberi a monte e a valle della

Viene proposta una lista della documentazione necessaria alla presentazione di un progetto di passaggio per pesci.

discontinuità, tenendo in considerazione il periodo migratorio delle specie *target*. Tale approfondimento tecnico deve prevedere una statistica sulla fluttuazione dei livelli di monte e di valle basata su dati relativi ad un periodo di almeno due anni o, in alternativa, su dati storici la cui significatività deve essere adeguatamente argomentata.

- Illustrazione degli esiti della fase di verifica e studio del funzionamento idraulico dell'opera in progetto.
- Descrizione delle modalità esecutive previste per la realizzazione dell'opera, con cenni sull'organizzazione dei lavori e indicazione del cronoprogramma di cantiere, soprattutto in riferimento a possibili interferenze con l'ecosistema fluviale.
- Piano di manutenzione.
- Piano di collaudo e monitoraggio.

2. Elaborati grafici o tavole di progetto:

- Planimetria generale contenente i seguenti elementi:
 - Corografia d'insieme (ad esempio in scala 1:10000), in cui siano evidenziati: la localizzazione dello sbarramento invalicabile e di almeno una o più discontinuità poste a monte e a valle dello stesso; le distanze tra le discontinuità; la lunghezza del corridoio acquatico reso di nuovo percorribile a seguito della realizzazione del passaggio.
 - Planimetria in scala idonea (ad esempio 1:500, 1:200) dello stato di fatto, comprensiva degli elementi del territorio circostante utili alla contestualizzazione (viabilità, accessi, confini di proprietà, ecc.) e delle quote.
 - Planimetria di progetto in scala idonea (ad esempio 1:200, 1:100), con l'inserimento della soluzione proposta e l'indicazione degli elementi di interazione (punto di recapito della quota parte di DMV, imbocchi dei canali di derivazione, opere di grigliatura o sgrigliatura, scarico di fondo, punti di sedimentazione, punti riconosciuti di concentrazione dei pesci, come grandi buche in alveo, ecc.) e dunque del quadro vincolistico descritto nella relazione tecnica di progetto.
- Una o più tavole tecniche di progetto, in scala idonea e con adeguato grado di dettaglio, che dovranno essere utilizzate nella fase di cantiere, per la realizzazione dell'opera:
 - Planimetria tecnica particolareggiata (ad esempio scala 1:100, 1:50) del passaggio per pesci, con tutte le quotature utili ad individuarne caratteristiche geometriche e particolari costruttivi.
 - Profilo longitudinale, sviluppato sull'asse dell'opera con riportati, oltre alle caratteristiche geometriche, i profili idraulici di progetto e minimi e massimi; il tutto quotato con indicazione quantomeno delle distanze progressive e delle pendenze.
 - Sezioni tipologiche relativa a più punti, tra cui almeno quelli di imbocco e sbocco e due centrali, ritenuti significativi.
 - Particolari costruttivi e geometrici di un bacino-tipo o di un tratto-tipo.
 - Particolari costruttivi delle opere accessorie (parapetti, opere di accesso come scale e passerelle, eventuali paratoie di alimentazione) e soluzioni adottate per le attività di ispezione, manutenzione e monitoraggio.
 - Tavola di cantiere con indicazione di: piste e accessi, aree di stoccaggio dei materiali e di lavorazione, eventuali ture, interventi di messa in asciutta o di deviazione delle acque, interferenze generate dalle necessità operative (con relativi accorgimenti atti a minimizzare gli impatti sull'ambiente), eventuali opere di ripristino.

7.3.6 Realizzazione dei passaggi: gestione dell'attività di cantiere

Per quanto concerne l'attività di cantiere e le modalità di operare in alveo, si rimanda al capitolo riguardante le linee guida per l'esecuzione dei lavori in alveo.

7.4 Verifica e monitoraggio della funzionalità dei passaggi

Un'ulteriore fase della pianificazione, ultima nella sequenza temporale, ma non certo per importanza, è quella del monitoraggio della funzionalità dei passaggi. Tutti i nuovi passaggi per pesci in costruzione dovrebbero prevedere sistemi, metodologie e programmi di monitoraggio che assicurino il funzionamento e la perpetuazione del funzionamento del passaggio, anche a distanza di anni dalla sua realizzazione. È infatti provato dall'esperienza che, seppure la progettazione abbia seguito le linee guida più standardizzate e testate sulla realizzazione dei passaggi artificiali per pesci, può accadere che, viste le innumerevoli variabili in gioco, anche solo piccole varianti e soluzioni sito-specifiche adottate per la singola situazione locale possano rivelarsi elementi influenti sulla reale funzionalità del passaggio, rispetto al *target* (specie ittiche a cui è rivolto) e agli obiettivi specifici del passaggio stesso.

È perciò fortemente raccomandabile che, già nella fase di progettazione del passaggio per pesci, siano individuati sistemi e programmi di monitoraggio, oltre che l'eventualità di dovere intervenire nuovamente sulla struttura del passaggio stesso modificandola, qualora esso risulti non perfettamente funzionante, soprattutto in una prospettiva di lungo periodo.

La gran parte dei metodi di monitoraggio è comunque applicabile anche nei casi di passaggi per pesci già costruiti e attivi, per i quali si nutrano dubbi sulla reale funzionalità.

L'obiettivo generale del monitoraggio è evidentemente quello di verificare che esso risulti concretamente efficace, nel consentire la risalita dei pesci da valle verso monte. Più nello specifico, un tale obiettivo è raggiunto qualora si verifichi che:

1. i pesci sono effettivamente richiamati verso l'ingresso del passaggio;
2. i pesci utilizzano efficacemente il passaggio e superano lo sbarramento;
3. una volta superato lo sbarramento, i pesci risaliti a monte non sono vittima in maniera significativa di stress e/o lesioni, che ne possano facilitare la morte per malattia o per predazione.

Verificate queste tre condizioni, si può affermare che il passaggio è funzionante (Odeh, 1999).

Non è però detto che un passaggio resti egualmente funzionante per tutto il periodo della sua esistenza; potrebbero infatti intervenire eventi eccezionali (naturali o di altro genere), in grado di alterare anche in maniera minima e impercettibile la struttura del passaggio, influenzandone negativamente la funzionalità. Ecco il motivo per il quale non è sufficiente testare il passaggio al momento della sua realizzazione, ma è fondamentale proseguire il monitoraggio anche in seguito. La situazione ideale è certamente quella che prevede un sistema di monitoraggio in continuo per tutta l'esistenza e l'attività del passaggio.

Risulta importante non solo la durata, ma anche la periodicità stessa del monitoraggio, nel caso si sia optato per una metodologia che preveda la realizzazione di campagne periodiche di rilevamento. Tali campagne dovrebbero essere programmate preferibilmente durante i periodi di principale migrazione, che possono differire a seconda delle specie ittiche *target*, della regione biogeografica e delle condizioni meteorologiche.

In sede di elaborazione di un piano di monitoraggio ed anche al momento stesso della valutazione della funzionalità del passaggio, dovrebbero essere tenuti particolarmente in considerazione i seguenti aspetti biologici e tecnici (FAO/DVWK, 2002):

- la comunità ittica potenziale e lo stato attuale della comunità ittica presente, sia nel tratto a valle sia in quello a monte dello sbarramento;
- la risalita di tutti i migratori presenti e di tutti gli stadi di sviluppo tipicamente vagili;
- il naturale e l'attuale sistema di connessione delle acque, in cui si inserisce lo sbarramento e su cui agisce il passaggio;
- l'osservanza dei requisiti richiesti al passaggio artificiale;
- l'eventuale proposta di adeguamenti e modifiche del passaggio utili alla sua ottimizzazione.

Un piano di monitoraggio che tenga conto di questi aspetti può comprendere una o più metodologie di

rilevamento tra quelle descritte nei paragrafi seguenti. A livello internazionale sono stati sperimentati differenti metodi di verifica del funzionamento di un passaggio artificiale, raggruppabili in due categorie:

- **metodi indiretti**, che prevedono cioè il controllo del funzionamento idraulico e meccanico del passaggio e della sua posizione rispetto all'alveo;
- **metodi diretti**, che consistono invece nella raccolta di informazioni biologiche, indicatrici del passaggio dei pesci attraverso il dispositivo, e quantitative, quali il conteggio dei pesci che passano.

A seconda della tipologia di passaggio, della fauna ittica presente e di interesse, delle disponibilità logistiche e finanziarie, sono adottabili diversi metodi e strumenti di verifica della funzionalità dei passaggi artificiali.

7.4.1 Metodi indiretti

Il monitoraggio della funzionalità di un passaggio artificiale non richiede semplicemente indagini dirette sulla fauna ittica, sulla presenza di specie particolari, sulla composizione specifica della comunità e sulla struttura demografica delle singole popolazioni a monte e a valle dello sbarramento, nonché sull'effettiva risalita attraverso il passaggio, ma richiede anche la verifica di una serie di altri parametri di riferimento e di condizioni riferite piuttosto all'opera di ripristino della percorribilità fluviale realizzata.

Si tratta in questo caso di verifiche indirette, compiute attraverso sopralluoghi in corrispondenza dell'opera realizzata finalizzati a rilevare una serie di misure, in grado innanzitutto di confermare che il passaggio artificiale sia conforme ai criteri definiti dal progetto.

Una volta appurata tale conformità, occorre verificare che le caratteristiche strutturali del dispositivo stesso così com'è stato concepito, e le caratteristiche morfologiche ed idrauliche, siano idonee e tali da consentire il passaggio della fauna ittica. Questa verifica necessita preventivamente la conoscenza delle specie ittiche che compiono abituali movimenti all'interno del tratto fluviale d'interesse.

Le verifiche indirette consistono in una serie di operazioni, di seguito elencate.

7.4.1.1 Controllo dei parametri idraulici

Si tratta di misure idrauliche da eseguire in differenti punti del dispositivo, ad esempio a monte e a valle o in particolari punti, con l'obiettivo di verificare che la profondità dell'acqua, la velocità di corrente, la turbolenza, l'altezza dei "salti" all'interno del dispositivo, in ingresso e in uscita, siano sempre compatibili con le particolari esigenze di nuoto di ogni specie e stadio vitale di cui s'intende garantire il passaggio. Le misure devono essere eseguite in diverse condizioni di portata (magra, morbida) e, in particolare, in corrispondenza di quelle tipiche del periodo di migrazione più intensa. Ovviamente è necessario essere a conoscenza dei requisiti idraulici tollerabili dalle specie in questione.

Nel caso, per esempio, di un passaggio a bacini successivi, i parametri idraulici da verificare sono:

- altezza del bacino dal fondo dell'alveo (nel caso di passaggio a bacini successivi);
- numero complessivo di bacini;
- numero di cambiamenti di pendenza;
- numero di bacini per ciascun tratto;
- quota del primo bacino di ciascun tratto e altezza dell'acqua;
- portata in ingresso al passaggio;
- altezza del battente d'acqua;
- lunghezza e larghezza del "bacino bagnato";
- velocità di corrente in diversi punti del bacino;
- rilevazioni all'interno del singolo bacino (altezza e larghezza del setto; altezza, larghezza e forma degli angoli degli orifizi superiori, o stramazzi; carico idraulico, cioè altezza dell'acqua sullo stramazzo; altezza, larghezza e forma degli angoli degli orifizi di fondo, o battenti).

Verifica indiretta del funzionamento dei passaggi per pesci.
Verifica dei parametri idraulici.



7.4.1.2 Controllo degli organi meccanici

Per i dispositivi a bacini successivi e a rallentamento, la verifica consiste nel controllo delle strutture che regolano il flusso d'acqua. Per i dispositivi a chiuse o in caso di ascensori, si va a controllare l'insieme dei meccanismi che assicurano lo svolgimento del ciclo di funzionamento (durata di ciascuna fase, coordinazione fra le varie fasi).

7.4.1.3 Rilievo dell'alveo di magra a monte e a valle dell'opera

È necessario verificare che l'imbocco del passaggio non smetta mai di esercitare la propria funzione di richiamo del pesce, anche in periodo di magra idrologica, e che un ulteriore ed eventuale deflusso a valle dello sbarramento non eserciti un richiamo che allontani i pesci dall'imbocco del passaggio.

Per compiere una tale verifica, occorre effettuare le seguenti rilevazioni a livello dell'alveo fluviale:

- rilievo topografico della sezione a monte e a valle del passaggio (nel caso di un passaggio a bacini successivi: una sezione in corrispondenza del bacino iniziale e una o più sezioni in corrispondenza dell'ultimo bacino);
- misure idrauliche della sezione rilevata a monte e a valle (profondità dell'acqua, velocità di corrente);
- pelo libero a monte e a valle del passaggio.



Verifica indiretta del funzionamento dei passaggi per pesci.

A sinistra: rilievo dei parametri topografici.

A destra: mancato raccordo a valle.

7.4.1.4 Valutazione dell'ostruzione del dispositivo

L'ostruzione del dispositivo può essere imputata a corpi di varia natura, che possono impedire il passaggio dei pesci, oppure che determinano una riduzione del potere di attrazione del dispositivo stesso. I punti più delicati da controllare sono l'uscita, le aperture fra bacini, i punti di immissione dell'acqua, le eventuali pompe per l'acqua.



A sinistra: passaggio ostruito.

A destra: raccordo inefficace monte-valle.

7.4.2 Metodi diretti

I metodi diretti consistono nel monitoraggio diretto della fauna ittica, effettuato al fine di valutare l'effettivo utilizzo del passaggio da parte di tutte le specie ittiche e di tutti gli stadi vitali *target*, per i quali ci si proponeva di consentire la risalita verso monte. Anche in questo caso, possono essere impiegate diverse metodologie di indagine, alcune delle quali possono ritenersi complementari tra loro, altre invece alternative l'una all'altra.

7.4.2.1 Valutazione della comunità ittica a monte e a valle dello sbarramento

Già da una prima osservazione visiva della zona a valle del passaggio, è possibile ricavare informazioni importanti riguardo alla sua funzionalità. Infatti, una particolare concentrazione di pesci in questo punto indica, con ogni probabilità, che esistono impedimenti alla risalita degli animali attraverso il passaggio che i pesci non riescono ad imboccare.

Per una valutazione quantitativa, si deve invece ricorrere ad un campionamento ittico a valle dello sbarramento, da condurre mediante elettropesca; può essere utile un confronto fra la densità a valle e quella a monte del passaggio artificiale, anch'essa da determinare mediante un campionamento con elettropesca.

Ovviamente il tutto implica che ci sia un adeguato DMV, tale da consentire, oltre all'eventuale funzionamento del passaggio, anche la presenza di pesci a valle dello sbarramento; senza un adeguato deflusso, infatti, le densità a valle dello sbarramento saranno basse, anche se il passaggio

non funziona.

Un'ulteriore fonte informativa è costituita dalla struttura di popolazione a valle del passaggio, che può dare indicazioni su eventuali selezioni delle taglie degli individui che riescono a passare. La definizione della struttura di popolazione può essere ricavata da un campionamento ittico, rilevando la taglia degli individui catturati.

7.4.2.2 Monitoraggio tramite cattura e ricattura

Lo studio delle migrazioni tramite cattura, marcatura, rilascio e ricattura, permette di verificare gli eventuali spostamenti avvenuti e verificare anche le distanze di migrazione.

Il metodo prevede le seguenti fasi:

- un campione di pesci (di una o più specie *target*, per uno o più stadi vitali) viene catturato a valle del passaggio artificiale, marcato (con uno dei metodi di marcatura oggi disponibili) e nuovamente liberato nello stesso sito;
- successivamente, in periodo post-migratorio, si eseguono dei campionamenti a valle e a monte del passaggio, per verificare la proporzione di individui marcati campionati che sono passati, rispetto a quelli rimasti a valle.

In questo modo, è possibile stimare l'efficacia reale di funzionamento del passaggio artificiale.

Monitoraggio della fauna ittica in applicazione del protocollo di cattura-ricattura.



7.4.2.2.1 Tecniche di marcatura

La marcatura è una tecnica ormai divenuta comune nel campo della ricerca zoologica e della gestione non solo dell'ittiofauna. Essa si rivela per esempio assai utile, se non addirittura essenziale, in studi di popolazione, in cui si debbano raccogliere dati riguardanti l'andamento demografico della popolazione, il comportamento degli animali, i loro movimenti. Già praticata da diverse decine di anni (McFarlane *et al.*, 1990), la marcatura ha visto svilupparsi ed evolversi una moltitudine di tecniche e metodi, ciascuno dotato di caratteristiche proprie di applicabilità, utilità e opportunità di impiego, che offrono ai ricercatori una vasta gamma di soluzioni, in grado di soddisfare tutte le esigenze a seconda delle finalità del monitoraggio che si intende compiere.

La scelta della più opportuna tecnica di marcatura deve essere compiuta considerando diversi aspetti di primario interesse per la definizione del metodo e del protocollo di monitoraggio maggiormente efficace. Tali aspetti sono:

- **L'oggetto dello studio**, cioè la specie ittica in esame, la taglia degli animali, le caratteristiche anatomiche e fisiologiche della specie stessa e degli individui alle differenti taglie.
- **L'ambiente di studio**. A seconda, infatti, dell'ambiente acquatico in cui ci si ritrova ad operare, certe tipologie di marcatori possono rivelarsi più opportune oppure, al contrario, del tutto inadatte ad essere impiegate. È il caso per esempio di alcuni tipi di targhette esterne, che possono risultare inefficaci o anche dannose, se non addirittura letali per gli animali in ambienti colonizzati da una fitta vegetazione sommersa o ricchi di anfratti tra le rocce, tronchi o rami, in cui le parti esposte delle targhette potrebbero impigliarsi, staccandosi o rompendosi dunque al primo strattone, con probabile ferimento del pesce,

oppure non consentendo all'animale stesso di svincolarsi.

- **Le finalità dello studio.** A seconda degli scopi del lavoro in oggetto, alcune tecniche di marcatura e dunque di monitoraggio possono risultare più idonee di altre, oppure, di nuovo, assolutamente inadatte. Nel caso, per esempio, si intenda approfondire il comportamento della specie, indagandone i movimenti, gli spostamenti e le preferenze ambientali, anche in funzione del tempo, una tecnica come la biotelemetria, qualora applicabile sulla specie e sugli animali di interesse, risulta certamente ideale. Qualora invece lo scopo principale del lavoro sia ottenere dati quantitativi, rispetto per esempio al ritrovamento in un certo ambiente o tratto fluviale di uno stesso stock di animali marcati a distanza di tempo, la biotelemetria appare inutile e costosa, mentre diviene più opportuno l'impiego di una marcatura passiva come il *pan jet* (iniezione a pressione di colorante nello strato cutaneo) o le targhette esterne. Alcuni tipi di marcatori non consentono l'identificazione individuale degli animali e dunque sono meno opportuni in studi etologici.
- **Il budget a disposizione.** In ogni programma di monitoraggio occorre, evidentemente, prevedere i costi delle singole operazioni e valutare secondo il criterio costi/benefici, quale sia la migliore strategia di lavoro impiegabile al minore costo. La biotelemetria è, per esempio, una tecnica di monitoraggio assai informativa e accurata per l'investigazione dei movimenti e del comportamento degli animali, ma comporta di fatto anche spese notevoli in termini sia di strumentazione sia di personale e di tempo, richiedendo anche il coinvolgimento di personale altamente specializzato, soprattutto per la fase di applicazione (inserimento) dei trasmettitori agli animali; per questi motivi essa non può essere applicata su campioni troppo numerosi di individui. In quest'ultimo caso, risultano certamente più opportune tecniche di marcatura come il *pan jet*, piuttosto che l'applicazione di targhette esterne o altri metodi ancora, che evidentemente prevedono anche un diverso protocollo di monitoraggio rispetto alla biotelemetria, con un dispiegamento di forze e mezzi inferiore, ma che sono altrettanto certamente meno informative della biotelemetria.
- **La durata del monitoraggio.** Occorre anche tenere nell'opportuna considerazione la durata prevista per il monitoraggio, anche in funzione delle finalità dello studio, in quanto la gran parte delle tecniche di marcatura dei pesci non sono permanenti nel tempo e, in generale, i diversi tipi di marcatura prevedono tempi diversi di durata. Non solo: alcune tecniche di marcatura risultano inopportune per monitoraggi a lunga scadenza, in quanto possono interferire con l'accrescimento dimensionale del pesce.

Come anticipato in premessa al paragrafo, sono innumerevoli i tipi di marcatura applicabili ai pesci. Volendo però restringere il campo alle tecniche impiegabili, nel caso presente, del monitoraggio della funzionalità dei passaggi per pesci, si possono considerare adatti essenzialmente quattro tipi di marcatura:

- marcatura con targhette esterne;
- marcatura con segni (marchi o macchie) esterni, ne è un esempio la marcatura tramite *Pan Jet*;
- marcatura con *microchip* inseriti internamente, per esempio i cosiddetti *PIT Tags*;
- biotelemetria (questo particolare metodo di marcatura in realtà risulta piuttosto utile per un monitoraggio di tipo comportamentale, di cui si tratterà nel paragrafo successivo).

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, la scelta deve cadere sulla tecnica che, con il minor rapporto costi/benefici, meglio risponde agli obiettivi e risultati attesi del monitoraggio e che più si addice al dispiegamento di forze e mezzi realizzabile dal responsabile del monitoraggio. Per approfondimenti sulle tecniche di marcatura, si rimanda alla monografia di Nielsen (1992), estremamente esauriente.

Tipi di marcatura dei pesci.



7.4.2.3 Osservazioni comportamentali: fish tracking

Questo tipo di monitoraggio si avvale della tecnica di marcatura tramite biotelemetria. All'animale catturato viene applicato oppure inserito un *transponder*, in grado di emettere un segnale rilevabile da un apposito strumento di ricezione, che consente di seguirne gli spostamenti e di verificare l'utilizzo del passaggio artificiale di interesse.

Il monitoraggio tramite *fish tracking* si svolge secondo le seguenti fasi:

1. cattura di un campione di pesci a valle (stadi vitali di grossa taglia);
2. inserimento di un *transponder*;
3. liberazione degli esemplari nello stesso sito;
4. *fish-tracking* (condotto tramite radiotelemetria, oppure telemetria ad ultrasuoni o a microonde) per un periodo, che ovviamente comprenda quello tipico migratorio della o delle specie *target*, sufficiente a valutarne gli spostamenti e l'utilizzo del passaggio.

Un esempio interessante di applicazione di questa tecnica di monitoraggio ci proviene dalla Francia meridionale (Larinier *et al.*, 2005) dove, sul Fiume Gave de Pau, presso lo sbarramento di un impianto idroelettrico, è stato costruito un nuovo passaggio del tipo ascensore per pesci, in sostituzione del preesistente passaggio non funzionante; in quest'occasione la radiotelemetria, applicata al salmone atlantico (*Salmo salar*), si è rivelata una tecnica di monitoraggio molto efficace nel fornire informazioni utili a valutare l'efficienza dei diversi elementi strutturali del passaggio e nell'indicare soluzioni per l'ottimizzazione dell'opera.

È da segnalare che questo tipo di tecnica risulta piuttosto costosa e difficoltosa, applicabile solo da personale preparato ed esperto. Per questo, essa può considerarsi una tecnica di studio e approfondimento che vale la pena di adottare, nel caso in cui il passaggio per pesci realizzato riguardi specie di elevato interesse conservazionistico, per le quali la funzionalità del passaggio rappresenta un elemento determinante per la sopravvivenza.



Fish tracking.

A sinistra: attrezzatura per la biotelemetria.

A destra: trasmettitore da inserire nell'animale.



A sinistra: fasi di operazione in laparotomia per l'inserimento di un trasmettitore in un esemplare adulto di storione cobice, per laparotomia.

A destra: campagna di biotelemetria dello storione cobice sul Fiume Ticino sublacuale.

7.4.2.4 Monitoraggio in continuo

Questo metodo consiste nel monitorare, per un periodo significativo, gli individui che migrano.

Questo metodo prevede il conteggio dei pesci a monte della scala, cioè degli individui che hanno utilizzato il passaggio artificiale per superare l'ostacolo. Può essere effettuato secondo differenti modalità:

- cattura dei pesci tramite trappola;
- conteggio mediante dispositivi a resistenza o ottici;
- controllo mediante l'uso del computer e sensori agli infrarossi;
- controllo visivo o mediante telecamera;
- controllo mediante l'uso del computer e videocamera.

Cattura dei pesci tramite trappola. Consiste nel catturare i pesci in un dispositivo apposito (trappola), posto all'interno del passaggio o presso l'uscita. Gli individui catturati vengono in seguito identificati e contati manualmente e successivamente vengono rilasciati a monte del passaggio.

Le trappole sono dispositivi tipo nassa o vasca di stoccaggio, il cui dimensionamento dipende dalle dimensioni del passaggio, oltre che dal numero massimo istantaneo di pesci potenzialmente presenti (picco giornaliero di migrazione) e dalla frequenza prevista dei controlli.

Il rilascio a monte può essere effettuato mediante manipolazione dei pesci (es. retino) o direttamente (es. apertura di una griglia/chiusa verso monte).

Le trappole devono essere ispezionate giornalmente o comunque secondo una periodicità, dipendente dalla presunta intensità di passaggio e dalla/e specie, tale da non mettere a rischio la vita stessa dei pesci catturati.

La cattura degli individui consente di rilevare una grande quantità di dati: dall'identificazione delle specie ittiche presenti, alla rilevazione della struttura in classi di taglia delle singole popolazioni, alle caratteristiche individuali di ciascun pesce (lunghezza, peso, età, stato di salute ecc.). Questa operazione deve essere chiaramente concentrata nel periodo della migrazione e lo sforzo richiesto, variabile con l'intensità migratoria e con le esigenze delle specie, rimane comunque piuttosto limitato.

L'impiego di tale metodo è vincolato dalla possibilità di introdurre una qualsiasi tipologia di trappola nella struttura. Occorre, inoltre, prestare particolare attenzione al tempo di stazionamento dei pesci nella trappola e all'eventualità che la trappola possa divenire oggetto di azioni di bracconaggio.

Questo sistema di monitoraggio risulta particolarmente utile nel caso di passaggi in cui si voglia impedire la risalita di specie indesiderate (come esotici invasivi) che, una volta intrappolate, possono venire rimosse dal corpo idrico.

Conteggio mediante dispositivi a resistenza o ottici. Richiede la predisposizione delle strutture ad accogliere tali dispositivi. Chiaramente con questo metodo non si riesce a discriminare fra taglie e specie, a meno di non ricorrere a tecniche estremamente sofisticate e costose. La torbidità dell'acqua e l'eccessiva turbolenza possono, inoltre, limitare l'impiego di tali tecniche.

Il contatore è generalmente associato ad un registratore, che permette di datare il passaggio di ogni individuo.

Nel caso di contatori a resistenza, deve essere assicurata una velocità di corrente piuttosto elevata (almeno 1 m/s), in grado di evitare lo stazionamento dei pesci fra gli elettrodi.

Controllo mediante l'uso del computer e sensori agli infrarossi. Questo sistema è costituito essenzialmente da due parti; la prima consiste in un sensore che rileva i contorni dei pesci e che è composto a sua volta da due unità di scansione e da una unità di controllo; ogni unità di scansione è dotata di due sensori lineari, ognuno dei quali composto da circa cento diodi agli infrarossi; quando un pesce attraversa l'unità di scansione interrompe il fascio di raggi infrarossi ed i suoi contorni vengono rilevati. Successivamente i dati acquisiti vengono inviati alla seconda parte del sistema, che

consiste in un *computer*, in cui un apposito *software* è in grado di elaborare i dati ricevuti, contando e classificando così ogni pesce che attraversa il passaggio.

Rispetto al precedente metodo, questo sistema ha il grosso vantaggio di poter funzionare anche in acque torbide e con poca o nulla visibilità; inoltre richiede una installazione più semplice nel passaggio per pesci: il computer può infatti anche essere posizionato in altra sede e i dati acquisiti possono essere inviati ad esso ad intervalli regolari, per essere elaborati mediante collegamento satellitare o grazie ad un telefono cellulare.

Controllo visivo o mediante telecamera. Nel caso di tipologie di passaggio artificiale che consentano l'osservazione diretta, è possibile verificare visivamente se e quali taglie e specie di pesci riescono a passare.

Il monitoraggio deve essere effettuato per un tempo significativo, durante la stagione migratoria; potrebbe essere necessario seguire i movimenti non solo durante il giorno, ma anche mediante osservazioni notturne, nel caso in cui sia noto, da letteratura o da esperienza professionale, che una determinata specie abbia un tale comportamento.

Questa tecnica di monitoraggio presenta il vantaggio significativo di non richiedere la cattura dei pesci e quindi di non sottoporre gli animali a stress fisico, conseguente all'intrappolamento e al maneggiamento da parte dell'operatore.

L'osservazione dei pesci, che passano attraverso il passaggio, può essere effettuata superiormente o lateralmente, forzando gli animali a passare in un'apposita zona ristretta del passaggio, in cui possono essere contati e classificati dall'operatore.

Tra queste due soluzioni, si può affermare che la migliore è l'osservazione laterale, poiché anche se entrambi i metodi consentono di contare facilmente i pesci di passaggio, una visione laterale presenta il vantaggio di rendere molto più facile l'identificazione della specie di appartenenza del pesce in transito, rispetto ad una visione dall'alto.

L'osservazione laterale prevede che i pesci siano costretti a passare in una apposita strettoia, la cui larghezza al momento della realizzazione deve essere dimensionata, sia in modo da non comprometterne il passaggio, sia in funzione della torbidità dell'acqua. La dimensione di tale strettoia può variare da 30 a 100 cm, anche se si può affermare che, nella maggior parte dei casi, una dimensione media di 40-50 cm appare adeguata.

La parete verticale di fondo della strettoia deve essere costituita da un pannello di colore chiaro, in modo che il contorno e i colori dei pesci di passaggio siano facilmente visibili, mentre l'altra parete verticale deve essere costituita da un pannello di vetro, attraverso cui l'operatore, posto al di là di essa in una apposita stanza, possa vedere ciò che accade all'interno del passaggio.

Risulta importante, per un corretto lavoro da parte del personale, e quindi per minimizzare il margine dell'errore umano, provvedere ad una adeguata illuminazione della strettoia, in modo da facilitare la visibilità di ciò che accade nell'area interessata. Risulta indispensabile, inoltre, una illuminazione artificiale della strettoia, qualora si voglia operare anche nelle ore notturne; a tale scopo si provvederà all'installazione di apposite lampade impermeabili sul fondo del passaggio, nonché all'installazione di apposite lampade che illuminino il passaggio attraverso la parete di vetro laterale.

Un parametro importante, per poter contare e identificare i pesci che passano di fronte all'osservatore, è la velocità dell'acqua nella strettoia, che deve essere tale da permettere la conta e l'identificazione delle specie di pesci in tempo reale. A tale scopo, i pesci non dovrebbero avere né la possibilità di sostare nella strettoia, né di tornare indietro nel passaggio, e tantomeno dovrebbero attraversarla troppo velocemente. Una velocità dell'acqua variabile da 1 a 1,5 m/s appare, nella maggior parte dei casi, adeguata, anche se questi valori possono variare notevolmente, in base alle specie per cui il passaggio è stato progettato; inoltre, anche il livello dell'acqua all'interno del passaggio dovrebbe essere mantenuto il più costante possibile.

Un grosso inconveniente di questo tipo di conta diretta in tempo reale consiste nel fatto di dover disporre di personale per 24 ore al giorno, che deve monitorare il passaggio costantemente, contando e identificando le specie di pesci che lo attraversano.

Per ovviare a tale inconveniente, si è pensato più recentemente di sostituire l'operatore con un sistema di videoregistrazione, in grado di venire attivato automaticamente dal passaggio di un pesce, e dando così la possibilità di visionare in seguito la cassetta, per contare ed identificare le specie che hanno transitato attraverso il passaggio.

Una variante a tale metodo consiste nell'installazione di un sistema di videoregistrazione in continuo a bassa velocità, che quindi non viene attivato solamente dal passaggio di un pesce, ma che può registrare continuamente per diverse ore di seguito in una normale videocassetta.

Controllo mediante l'uso del computer e videocamera. Più innovativa e di più recente introduzione è la sostituzione dell'impianto di videoregistrazione con un computer, dotato di uno specifico *software*, in grado di registrare su *hard disk* la sequenza digitale del passaggio dei pesci, abbinandogli la data del passaggio, l'ora, ed eventualmente identificandone la specie, e consentendo inoltre successivamente l'elaborazione dei dati acquisiti.

L'affidabilità dell'identificazione della specie del pesce risulta essere in funzione di diversi fattori ambientali, come l'illuminazione, la torbidità dell'acqua (che deve essere di almeno 70 cm misurandola con il disco di Secchi), nonché di fattori specifici del pesce preso in considerazione, come la specie, la taglia e la velocità di attraversamento del passaggio di fronte alla videocamera.

L'illuminazione dell'area di osservazione risulta particolarmente importante per il corretto funzionamento del sistema, senza la quale risulterebbe difficile l'identificazione delle specie; in particolare, per una corretta illuminazione, andrebbero utilizzate lampade agli alogenuri o meglio ancora lampade ai vapori di mercurio.

In buone condizioni di visibilità, si può affermare che l'accuratezza dell'identificazione delle specie risulta eccellente (90-100%) per quello che riguarda i Salmonidi e i Ciprinidi di dimensioni superiori a 25 cm di lunghezza, buona (70-90%) riguardo a lamprede, barbi e Ciprinidi di taglia compresa tra 10 e 25 cm di lunghezza e discreta riguardo ad anguille e pesci con dimensioni inferiori ai 10 cm di lunghezza.

MONITORAGGIO IN CONTINUO DELLA FUNZIONALITÀ DEL PASSAGGIO PER PESCI SUL FIUME TRESA A PONTE TRESA

Titolo del lavoro: Camera di monitoraggio della funzionalità del passaggio per pesci sul Fiume Tresa a Ponte Tresa. Risultati del monitoraggio

Committente: Repubblica e Cantone Ticino (Svizzera) - Ufficio della caccia e della pesca

Altri Enti coinvolti: Provincia di Varese, Comune di Ponte Tresa

Progettisti: GRAIA srl

Anno di progettazione: 2006

Anno di realizzazione: 2007

Durante la realizzazione del passaggio per pesci a bacini successivi sul Fiume Tresa a Ponte Tresa (VA), per il quale si rimanda alla specifica scheda monografica, è stata fatta una variante al progetto in corso d'opera, per la creazione di una camera di monitoraggio della funzionalità del passaggio. In queste pagine, oltre ad illustrare il progetto e la realizzazione della camera, sono anche presentati in estrema sintesi i risultati del monitoraggio realizzato per i primi due anni di attività.

OBIETTIVI

Obiettivo del progetto era la creazione e l'attivazione di un sistema di monitoraggio in continuo della funzionalità del passaggio per pesci realizzato a Ponte Tresa (VA) sul Fiume Tresa.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE

La camera di monitoraggio è stata progettata in corrispondenza del primo bacino di monte. Essa è stata concepita come una camera allo stesso livello del passaggio per pesci e dunque sotto il livello della strada, dotata di una ampia parete trasparente posta sotto la superficie dell'acqua, in modo da poter osservare direttamente i pesci in transito. Come sistema automatico di rilevamento, è stato installato un computer dotato di telecamera, il quale, tramite uno specifico software, riesce a rilevare la presenza di pesce e così a registrare su hard disc unicamente le immagini con le specie ittiche di passaggio.

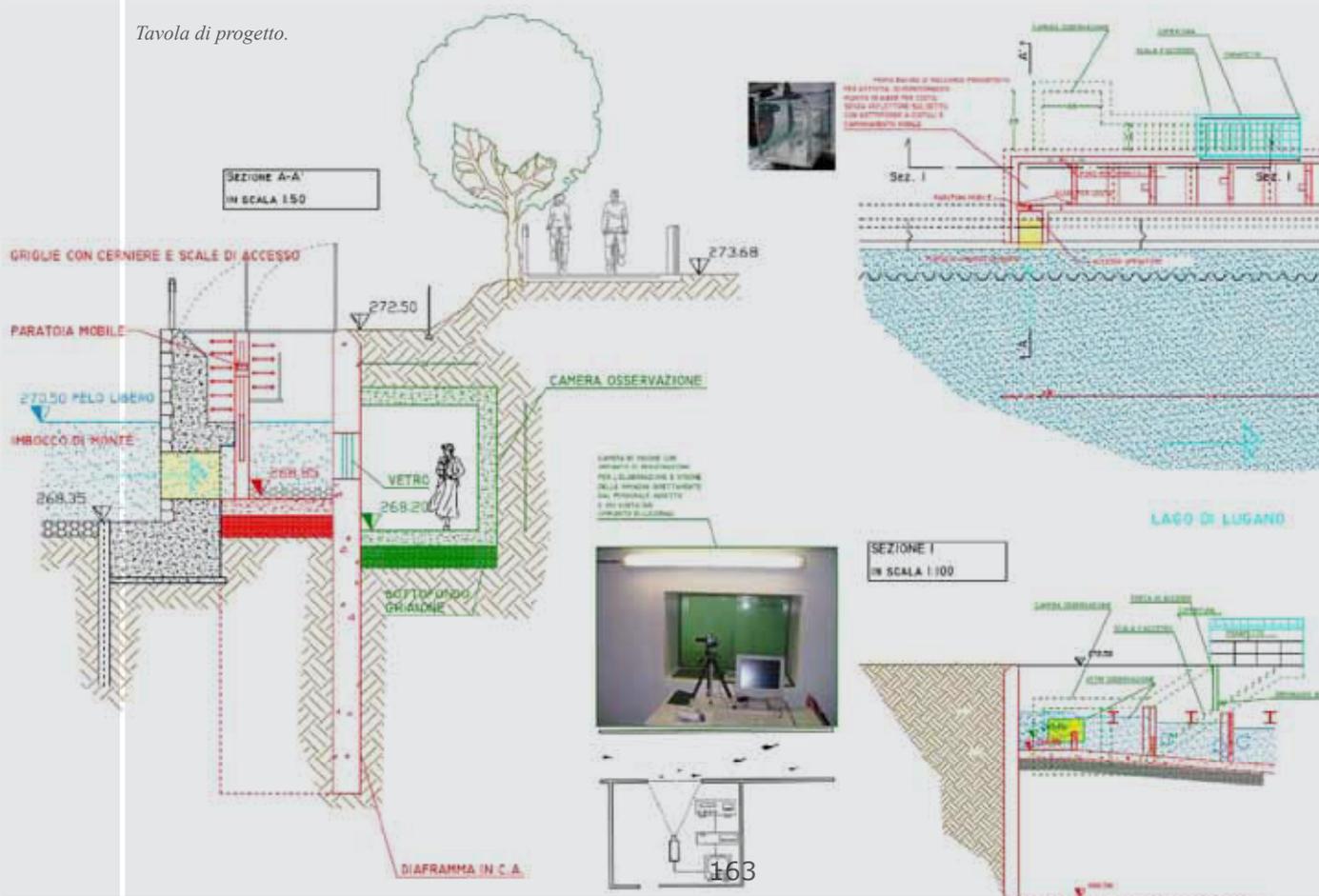
Inoltre, tale cabina di monitoraggio è stata fornita di un grande schermo, per facilitare la proiezione e la visione di filmati, documentari e presentazioni di lezioni agli eventuali ospiti in visita alla struttura come scolaresche o appassionati.

La tavola di progetto relativa alla camera di monitoraggio illustra il suo inserimento nella struttura ed anche il sistema adottato di controllo della funzionalità dell'impianto.

L'opera è composta dai seguenti elementi:

- Cabina sotterranea delle dimensioni interne di 400 cm X 250 cm, con murature perimetrali e soletta in c.a. dello spessore di 25 cm. L'intero manufatto, trovandosi in falda (il cui livello corrisponde a quello del Lago di Lugano), è completamente impermeabilizzato, per garantire la

Tavola di progetto.



completa tenuta delle murature.

- Scala di accesso posta a monte del passaggio per pesci, riparata da tettoia in metallo zincato.
- Apertura per la visione dei pesci in transito, realizzata nel diaframma in c.a. esistente, e chiusura del foro con cristallo antisfondamento posato su telaio a tenuta.
- Telecamera digitale, computer e video terminale.
- *Software* specifico distribuito da Salmonsoft (Portrald – USA), che comprende *Fish Tick Standard e Plus Package*.
- Scrivania con sedia, impianto elettrico comprensivo di allacciamento alla rete ENEL, sistema di riscaldamento, illuminazione interna ed esterna, predisposizione collegamento internet.

Con un tale equipaggiamento è possibile registrare in continuo, ad opera di un computer e di una videocamera collegata, il passaggio di ogni singolo animale attraverso il bacino monitorato.

MONITORAGGIO

Da quando è stata realizzata nel 2007, la camera di monitoraggio costituisce un punto privilegiato ed originale di osservazione, a disposizione non solo degli enti gestori e dei ricercatori, ma anche delle scolaresche e dell'intera comunità, che può così avvicinarsi ed avere un contatto più diretto con la vita acquatica del proprio lago.

Il monitoraggio in continuo all'interno di questa camera è ormai attivo da oltre due anni, con una fase precedente di messa a punto, realizzata nell'estate del 2007. Ciò ha reso disponibile oggi un'enorme quantità di documenti videoregistrati e di dati, tutti informatizzati. I dati raccolti riguardano:

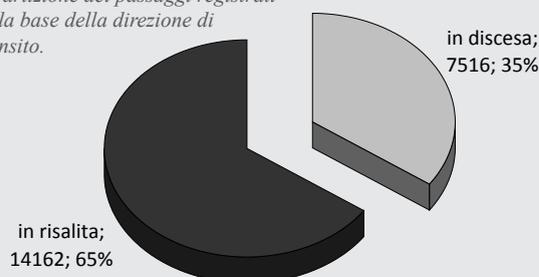
- la specie di appartenenza dell'animale registrato durante il passaggio, è stato possibile identificare con certezza il 99,9 % degli animali transitati;
- lo stadio vitale dell'animale;
- la direzione di transito;
- la data di transito e dunque anche il periodo stagionale;
- l'orario di transito;
- lo stato generale del pesce;
- eventuali comportamenti anomali e le modalità di attraversamento;
- l'attraversamento in gruppo o singolarmente;
- il numero di animali contemporaneamente presenti nel bacino;
- eventuali interazioni tra animali;
- tempo di attraversamento del singolo bacino;
- eventuali comportamenti legati a variazioni delle condizioni idrauliche nel passaggio.

Momento della costruzione della camera di monitoraggio.



Monitoraggio della funzionalità del passaggio con telecamera connessa a PC.

Ripartizione dei passaggi registrati sulla base della direzione di transito.



A questi aspetti si uniscono tante altre osservazioni ecologiche ed etologiche, ma anche di interesse più strettamente idraulico e ingegneristico, che allungano l'elenco delle informazioni preziosissime ricavate da quest'esperienza di monitoraggio.

È evidente che, per la quantità e la complessità delle informazioni traibili dai dati registrati, occorrerebbe dedicare un'intera monografia a questo caso sperimentale.

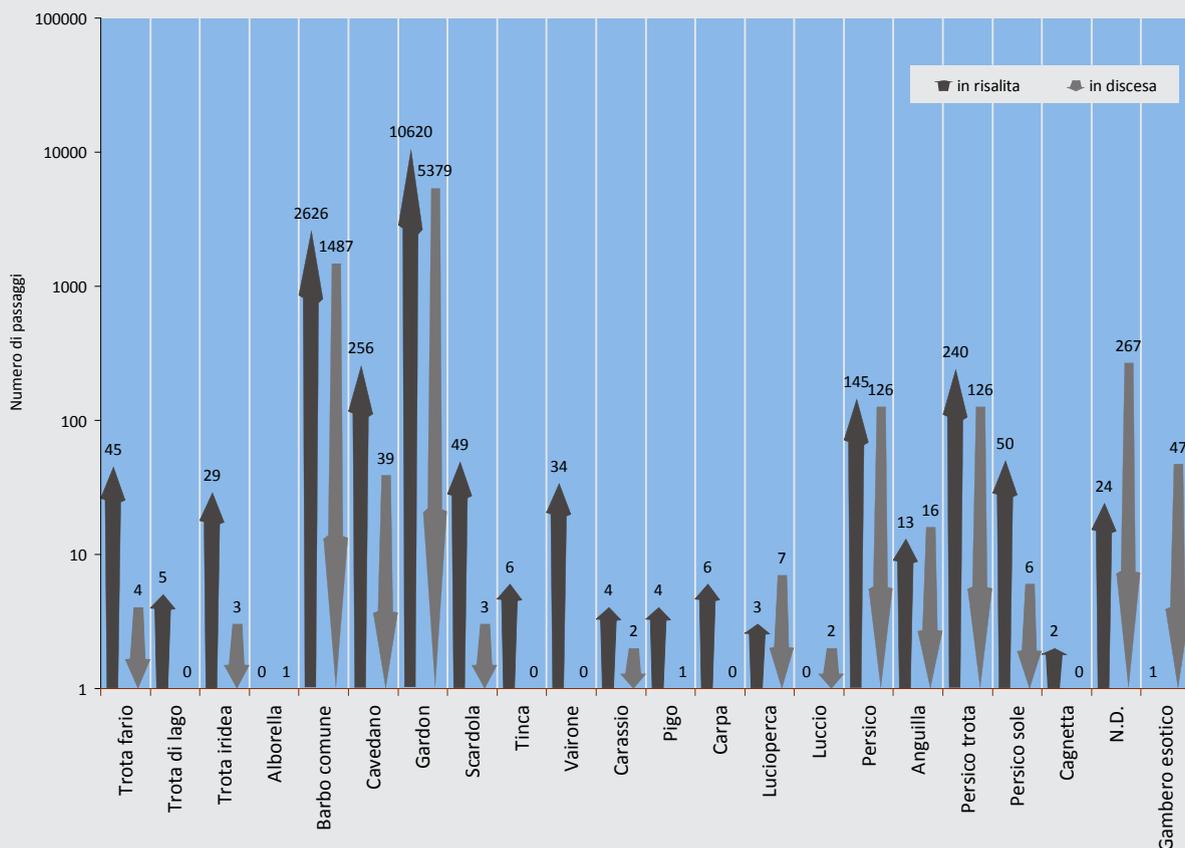
Ci si limita in questa sede a riportare i più significativi dati sintetici riguardanti l'utilizzo del passaggio da parte dei pesci e, come si vedrà, anche di altri gruppi animali.



Ingresso della camera di monitoraggio.



Esemplare adulto di barbo comune durante il transito nel bacino.



Numero di passaggi effettuati in risalita e in discesa dalle singole specie intercettate durante il transito (dati 2007-2009, monitoraggio continuativo con periodi di fermo; dimensioni del campione: 21.678 passaggi).

Il primo dato importante riguarda il numero complessivo di passaggi registrati: ben 21.678, registrati in più di 410 giorni effettivi di funzionamento ottimale dello strumento.

Si sottolinea, e non sarà più ripreso in seguito, che quest'ultima precisazione è necessaria, in quanto costituisce un limite alla significatività delle informazioni riportate, comunque complessivamente superato, quantomeno ai fini di trarre considerazioni generali dai dati in nostro possesso, dalla numerosità del campione raccolto.

L'utilizzo del passaggio complessivamente risulta essere nel senso della risalita per circa $\frac{2}{3}$ ed in quello della discesa per circa $\frac{1}{3}$. Il passaggio dimostra dunque la sua efficienza nei due sensi di transito.

Per quanto concerne le specie ittiche che utilizzano il passaggio, in considerazione del fatto che lo sbarramento di Ponte Tresa si trova in un tratto di fiume posto in prossimità dell'incile del Lago di Lugano, ci si attende la presenza in esso di specie sia prettamente lacustri, sia prettamente fluviali sia, ancora, euritiche.

Effettivamente, come illustrato nel grafico riportato sopra e come anche è possibile notare dal confronto delle specie rilevate nel passaggio con quelle presenti nel lago (si veda la tabella a fianco), il passaggio risulta frequentato da specie come la trota fario e il vairone, più strettamente reofile, e da specie come luccio, lucioperca, tinca, prettamente limnofile.

Come si evince dal grafico ad istogrammi sopra riportato, le specie che più delle altre sono state rilevate all'interno del passaggio sono: gardon, in assoluto la specie più registrata (74 % dei passaggi), e barbo comune (19 %).

Altre specie frequentatrici con una certa assiduità sono il persico trota, il cavedano e il pesce persico.

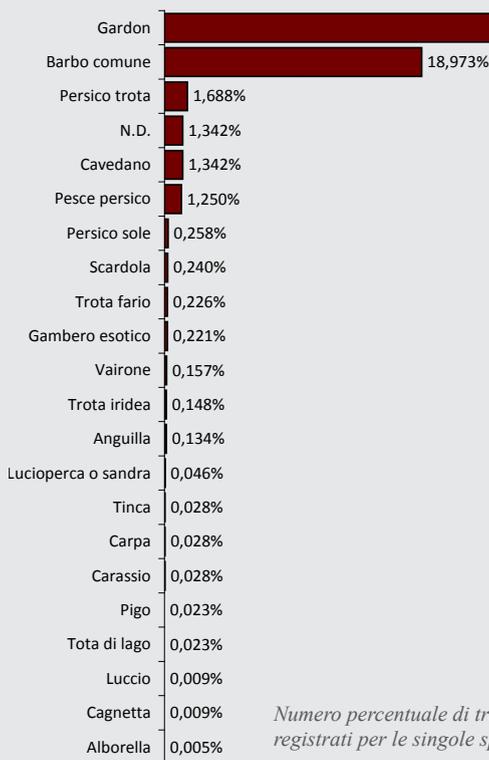
Le specie ittiche presenti nel Ceresio, autoctone ed esotiche. Abbondanza e tendenza demografica.

Legenda:

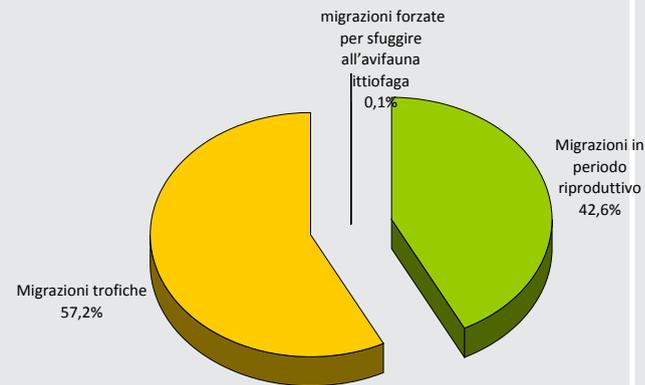
- Abbondanza
- + occasionale
 - ++ scarso
 - +++ presente
 - ++++ abbondante
 - +++++ molto abbondante

- Tendenza
- ▲ in crescita
 - ▼ in decremento
 - ↔ stabile

| Nome comune | Abbondanza | Tendenza |
|----------------------|------------|----------|
| SALMONIDI | | |
| Trota fario | ++ | ↔ |
| Trota lacustre | ++ | ↔ |
| Trota iridea | + | ▼ |
| Salmerino alpino | + | ↔ |
| Coregone | + | ▼ |
| ANGUILLIDI | | |
| Anguilla | ++ | ▼ |
| BLENNIDI | | |
| Cagnetta | + | ↔ |
| CENTRARCHIDI | | |
| Persico trota | ++ | ▼ |
| Persico sole | ++ | ↔ |
| CIPRINIDI | | |
| Vairone | ++ | ↔ |
| Triotto | ++ | ▼ |
| Cavedano | +++ | ↔ |
| Pigo | ++ | ↔ |
| Scardola | +++ | ↔ |
| Alborella | + | ▼ |
| Savetta | + | ↔ |
| Barbo | + | ↔ |
| Barbo canino | + | ↔ |
| Carassio | ++ | ↔ |
| Carpa | ++ | ↔ |
| Tinca | ++ | ↔ |
| Gardon | +++++ | ↔ |
| CLUPEIDI | | |
| Agone | ++ | ▼ |
| ESOCIDI | | |
| Luccio | + | ↔ |
| GADIDI | | |
| Bottatrice | +++ | ▼ |
| GASTEROSTEIDI | | |
| Spinarello | + | ↔ |
| GOBIDI | | |
| Ghiozzo padano | ++ | ↔ |
| PERCIDI | | |
| Pesce persico | +++ | ↔ |
| Lucioperca o sandra | +++ | ↔ |
| SILURIDI | | |
| Siluro | + | ↔ |



Numero percentuale di transiti registrati per le singole specie.



Questa osservazione offre un primo spunto per considerare che, tra le specie frequentatrici del passaggio, ve ne sono alcune la cui rilevazione non può dirsi saltuaria e che quindi rivelano una certa vagilità, come il persico trota appunto, ma anche, scorrendo il grafico, il persico sole, nonostante la loro sedentarietà.

Effettivamente, il passaggio risulta essere frequentato da specie di tutte le categorie di inclinazione allo spostamento (vagilità). Si noti che l'unica specie migratrice diadroma pertinente l'ambiente in esame è l'anguilla. Per essa, però, non si può parlare di migrazioni per accrescimento: le migrazioni stagionali a risalire il fiume intraprese dai giovani giunti dal mare sono, infatti, attualmente impedita dalla presenza, una di decina di chilometri più a valle, di un ulteriore sbarramento sul Tresa, la Diga di Creva, che stabilisce un salto di 23 m, per la quale è oggi in corso la progettazione di una soluzione per il ripristino della percorribilità ittica.

A proposito della finalità delle migrazioni, se in alcuni casi il passaggio degli animali può essere ricondotto, almeno intuitivamente dato il periodo, alla ricerca di siti per la riproduzione, ed in altri è invece più verosimilmente attribuibile a motivazioni di ordine trofico o comunque di altro genere, in altri casi (come per esempio per il fenomeno di discesa in massa dal lago da parte del gardon ad aprile) esso potrebbe essere più verosimilmente ricondotto a fenomeni ambientali contingenti, che avrebbero spinto i pesci a muoversi rapidamente verso il fiume, per poi riguadagnare il lago in condizioni più favorevoli.

Una piccola percentuale potrebbe essere ricondotta al problema della fuga dagli uccelli ittiofagi, che effettivamente riguarderebbe la scardola, per la quale è noto questo fenomeno; potrebbe però anche riguardare altre specie come, per esempio, il gardon stesso, per il quale si registrano incrementi nella risalita nei periodi di ottobre e novembre, ed anche il persico trota, per cui si rilevano anche in questo caso incrementi tardo autunnali della risalita. Le motivazioni, in realtà, potrebbero essere anche, o soprattutto, di ordine trofico ed indicherebbero la tendenza degli animali a rientrare in lago prima di affrontare la stagione sfavorevole in fiume,

peraltro in un tratto, quale quello prossimo allo sbarramento, piuttosto rettificato e in generale banalizzato, dunque probabilmente meno ospitale per le specie tendenzialmente limnofile, soprattutto nella stagione invernale. Il fenomeno appena osservato risulta significativo e interessante, in quanto dimostra la specie-specificità e la sito-specificità dei comportamenti migratori che, dunque, nella progettazione dei passaggi per pesci, dovrebbero essere previsti per il più ampio ventaglio di specie native, in qualità di potenziali fruitori del passaggio.

Le tabelle riportate in queste pagine illustrano il dettaglio

| Mese | Salmonidi | | | | | | Alborella | Barbo comune | Carassio | Carpa | | | |
|-----------|--------------|---|-------------|----|--------------|----|-----------|--------------|----------|-------|---|---|---|
| | Tota di lago | | Trota fario | | Trota iridea | | | | | | | | |
| | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | | | | | | | |
| gennaio | | | 2 | 5 | 0 | 0 | | 1 | 6 | | | | |
| febbraio | | 0 | | 3 | 0 | 0 | 1 | 5 | 16 | | | | |
| marzo | | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 7 | 5 | | | | |
| aprile | | 2 | | | 0 | 0 | | 28 | 21 | | | | |
| maggio | | 3 | | 5 | 0 | 2 | | 164 | 295 | 1 | 1 | | |
| giugno | | | 2 | 27 | 2 | 19 | | 324 | 571 | 3 | | | |
| luglio | | | | 1 | 1 | 4 | | 363 | 486 | | | | |
| agosto | | | | | 0 | 1 | | 307 | 459 | 1 | | | |
| settembre | | | | | 0 | 0 | | 26 | 55 | | | | |
| ottobre | | | | | 0 | 1 | | 75 | 226 | | | | |
| novembre | | | | 1 | 0 | 1 | | 137 | 289 | | | | |
| dicembre | | | | 2 | 0 | 1 | | 50 | 197 | | | | |
| TOTALI | 0 | 5 | 4 | 45 | 3 | 29 | 1 | 0 | 1487 | 2626 | 2 | 4 | 0 |

Legenda:

- migrazioni per accrescimento
- migrazioni riproduttive (o genetiche)
- migrazioni trofiche
- migrazioni forzate per sfuggire all'avifauna ittiofaga

| Specie | Vagilità della specie | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic |
|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| anguilla | migratrice | ↑ | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| alborella | molto vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| barbo comune | molto vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| carpa | scarsamente vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| cavedano | molto vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| vairone | molto vagile | | | ↑ ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| pigo | molto vagile | | | ↑ ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| scardola | moderatamente vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| tinca | sedentaria | | | | | | | | | | | | |
| lucio | moderatamente vagile | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| pesce persico | scarsamente vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| cagnetta | scarsamente vagile | | | ↑ ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| trotta fario | moderatamente vagile | ↑ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ | ↑ |
| carassio | scarsamente vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| Gardon | scarsamente vagile | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |
| Lucioperca o sandra | sedentaria | | | | | | | | | | | | |
| Persico sole | sedentaria | | | | | | | | | | | | |
| Persico trota | sedentaria | | | | | | | | | | | | |
| Trotta iridea | sedentaria | | | | | | | | | | | | |
| N.D. | sedentaria | | | | | | | | | | | | |
| Gambero esotico | sedentaria | | | | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | ↑ ↓ | |

Sopra: tabella teorica delle migrazioni attese per ciascuna specie presente nel Tresa.

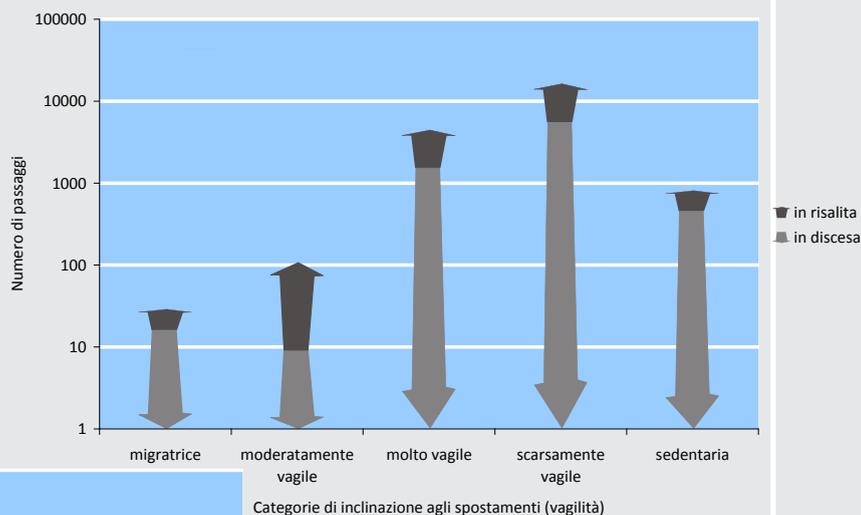
delle registrazioni dei passaggi effettuate mensilmente per ciascuna specie e confrontano questi dati con le conoscenze di letteratura riguardo alla loro autoecologia, in particolare ai periodi migratori, in funzione dello stadio vitale e del periodo stagionale.

Dalla tabella sottostante (i cui riempimenti colorati indicano la stagionalità dei movimenti, così come indicato dalla letteratura attuale) si evincono diversi aspetti interessanti, di seguito

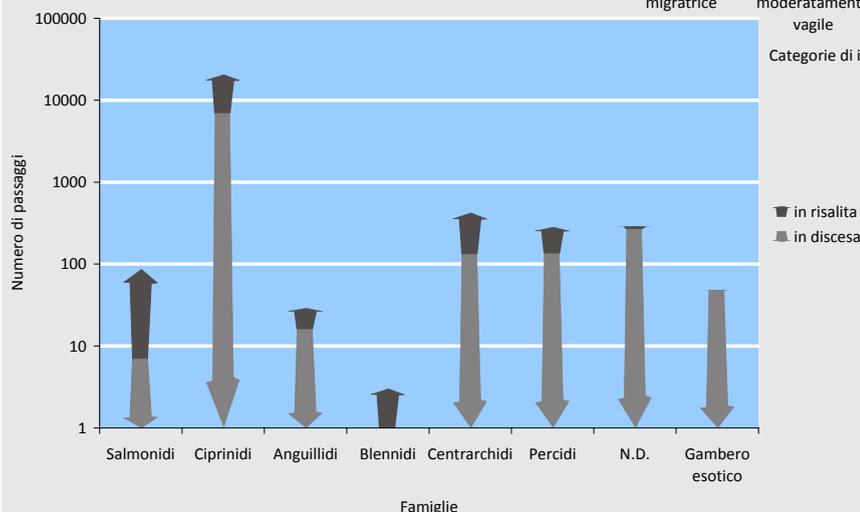
Sotto: confronto tra la tabella teorica delle migrazioni attese (colore di ciascuna cella) e le migrazioni effettivamente rilevate (valore numerico all'interno di ciascuna cella che indica il numero reale di passaggi registrati).

| Ciprinidi | | | | | | | | Anguillidi | | Blennidi | | Centrarchidi | | | | Percidi | | | N.D. | | Gambero esotico | | | | | | | | | | |
|-----------|----|----------|------|--------|---|------|---|------------|---|----------|---|--------------|----|----------|---|----------|---|--------------|------|---------------|-----------------|--------|---|---------------------|-----|---------------|-----|------|----|-----------------|---|
| Carpa | | Cavedano | | Gardon | | Pigo | | Scardola | | Tinca | | Vairone | | Anguilla | | Cagnetta | | Persico sole | | Persico trota | | Luccio | | Lucioperca o sandra | | Pesce persico | | N.D. | | Gambero esotico | |
| ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | |
| | | | | 9 | 2 | | | 1 | | 0 | 0 | | | | | | | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | | 1 | 1 | 4 | 2 | 10 | 2 | 3 | |
| | 2 | 2 | 22 | 4 | | | | | | 0 | 0 | | | 1 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 1 | 0 | 51 | 1 | 51 | 4 | 7 | |
| | | | 41 | 4 | 1 | | 2 | | | 0 | 0 | | | | | | | 2 | 0 | 4 | 0 | | | 3 | 0 | 57 | | 85 | 1 | 12 | |
| | | | 4870 | 79 | | | | 2 | | 0 | 0 | | | 14 | | | | 0 | 0 | 1 | 0 | | | 2 | 2 | 9 | 7 | 116 | 0 | 2 | |
| 4 | 0 | | 265 | 1420 | | 2 | | | | 0 | 0 | | | 2 | | | | 2 | 18 | 2 | 21 | | | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | |
| 1 | 1 | 8 | 32 | 170 | | | | | | 0 | 3 | | | 3 | | 1 | | 2 | 23 | 44 | 56 | | | 0 | 0 | | 59 | 1 | 2 | 1 | |
| 1 | 27 | 40 | 38 | 578 | | | | 1 | | 0 | 0 | | | 2 | | 1 | | 0 | 4 | 26 | 25 | | | 0 | 0 | | 7 | 3 | 3 | 12 | |
| | 4 | 13 | 35 | 1599 | | 1 | | 1 | | 0 | 0 | | | 1 | 5 | | | 0 | 1 | 40 | 41 | | | 0 | 0 | 3 | 19 | 0 | 1 | 4 | |
| | | 7 | 4 | 892 | | 1 | | | | 0 | 0 | | | | | | | 0 | 1 | 2 | 3 | | | 0 | 0 | | 2 | 0 | 0 | 1 | |
| 1 | 7 | 1 | 5178 | | | | | 16 | | 0 | 2 | | 22 | 1 | | | | 0 | 2 | 2 | 39 | | | 0 | 0 | | 13 | 0 | 7 | | 1 |
| | | 6 | | 448 | | | | 29 | | 0 | 0 | | 9 | | | | | 0 | 1 | 4 | 55 | | | 0 | 0 | 1 | 32 | 0 | 3 | 2 | |
| | | 173 | 66 | 246 | | | | | | 0 | 1 | | 3 | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | | | 1 | 0 | 1 | |
| 6 | 35 | 256 | 5383 | 10620 | 1 | 4 | 3 | 49 | 0 | 6 | 0 | 34 | 16 | 13 | 0 | 2 | 6 | 50 | 126 | 240 | 2 | 0 | 7 | 3 | 126 | 145 | 267 | 24 | 47 | 1 | |

Numero di passaggi registrati per ciascuna categoria di specie in merito all'inclinazione ad effettuare spostamenti (vagilità), nei due sensi di transito.



Numero di passaggi registrati per le diverse famiglie ittiche (cui si aggiungono il gruppo dei pesci non identificati ed il gambero esotico) nei due sensi di transito.

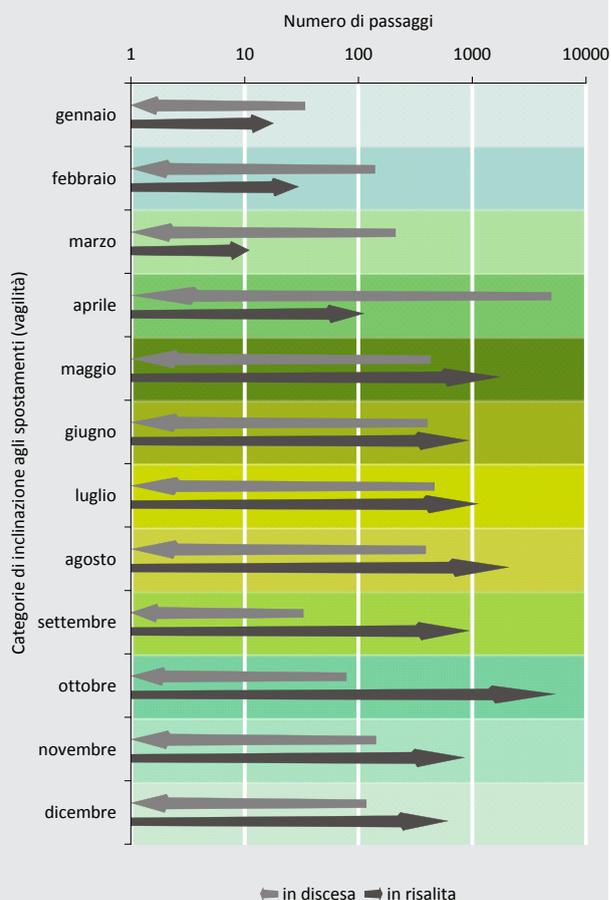


Numero di passaggi registrati nei due sensi di transito in ciascun mese.

brevemente descritti:

- per molte specie le migrazioni attese non corrispondono con la periodicità e la frequenza dei passaggi rilevati;
- l'orientamento stesso delle migrazioni spesso non coincide con quanto atteso, anche se in alcuni casi, invece, risulta utile per rilevare tendenze comportamentali non ancora provate sperimentalmente, come la tendenza del gardon a riprodursi in fiume, come confermato dalla concentrazione delle migrazioni a discendere il corso d'acqua, in aprile;
- il passaggio è utilizzato a discendere anche dal gambero esotico, che invece pare avere problemi nella risalita;
- come attendibile, gennaio, febbraio e marzo sono i mesi caratterizzati da una minore circolazione di animali; da sottolineare a marzo la discesa di persici adulti, probabilmente alla ricerca di habitat riproduttivi;
- il quadro delle specie che attraversano il passaggio può ritenersi informativo anche circa le tendenze demografiche di molte specie, come le più abbondanti o quelle che, per le proprie caratteristiche ecologiche, dovrebbero dimostrare una maggiore frequentazione del passaggio (per esempio il pigo), ma che, evidentemente, sono in decremento.

Questa sintesi dei risultati del monitoraggio della funzionalità del passaggio per pesci di Ponte Tresa delinea certamente un quadro sufficientemente esaustivo delle grandi opportunità offerte, non solo di sensibilizzazione e divulgazione, ma anche e soprattutto di ricerca scientifica, da simili sistemi di controllo dell'efficienza dei passaggi artificiali, soprattutto tenendo conto dell'ampia varietà di comportamento e, più in generale, adattamento fenotipico, che ogni specie può rivelare in uno specifico ambiente.



INTERVENTI A FAVORE DELLA NATURALE DISCESA A VALLE DELLA FAUNA ITTICA

Come descritto nel paragrafo relativo alle migrazioni dei pesci, questi si rendono protagonisti di spostamenti lungo i corsi d'acqua, che possono essere unidirezionali, verso monte o verso valle, o in qualsiasi direzione, a seconda della specie, del suo stadio vitale, del periodo stagionale e delle condizioni ambientali, eventi eccezionali e perturbazioni di ogni genere compresi.

In particolare, sono spostamenti verso valle, che assumono il rango di vere e proprie migrazioni obbligate, quelle dei giovani storioni nati in fiume e pronti a ridiscendere i corsi d'acqua alla volta degli ambienti costieri marini, dove avrà luogo il loro accrescimento fino alla maturità sessuale, raggiunta solo dopo molti anni. Per le stesse ragioni, scendono al mare anche le giovani cheppie (forma diadroma di *Alosa fallax*), dopo che gli adulti si sono trasferiti in fiume a riprodursi e a deporre le uova. Per le ragioni opposte, ma altrettanto obbligatoriamente, altre specie devono discendere il fiume, in questo caso per svolgere la riproduzione in mare (specie catadrome) e dare così compimento al proprio ciclo biologico: ne è un esempio, per quanto concerne la nostra regione, l'anguilla.

A queste forme obbligatorie di discesa dei fiumi, se ne aggiungono poi altre che, pur rispondendo ad un'ereditaria esigenza di spostamento, sono orientate verso valle, in risposta alle condizioni ambientali contingenti e non per un fenomeno di *homing* propriamente detto: può svolgersi nei due sensi di spostamento, e dunque anche a discendere, la ricerca di habitat idonei alla riproduzione da parte di numerose specie ittiche, come può svolgersi anche a discendere lo spostamento alla ricerca di ambienti più ricchi dal punto di vista trofico. Sono, inoltre, molteplici gli esempi di spostamenti compiuti dai pesci anche assecondando il verso della corrente dei corsi d'acqua, esclusivamente in risposta all'ambiente e non a carattere ereditario: basti pensare alle migrazioni per sfuggire ai predatori ittiofagi, che coinvolgono intere popolazioni, o agli spostamenti resi necessari per popolazioni rimaste coinvolte in eventi perturbativi gravi, che hanno reso inospitali gli ambienti di origine. A tutto ciò si aggiungono infine gli spostamenti del tutto casuali dei singoli individui.

Ciò premesso, appare evidente che la continuità longitudinale della rete fluviale debba essere preservata, non solo al fine di garantire ai pesci la possibilità di risalire i corsi d'acqua, ma anche per assicurare loro l'altrettanto importante opportunità di discenderli.

8. PROBLEMI RELATIVI ALLA DISCESA DEI CORSI D'ACQUA: POSSIBILI SOLUZIONI O MITIGAZIONI

La presenza lungo i corsi d'acqua naturali di sbarramenti di vario genere -briglie, soglie, dighe- in particolare di quelli a servizio di derivazioni idriche, può imporre ostacoli, non solo alla risalita fluviale, ma anche alla discesa. I pesci possono trovarsi di fronte a due diversi tipi di problemi: il primo riguarda il superamento dello sbarramento stesso, il secondo la possibilità di essere deviati in un canale di derivazione.

Troppo a lungo queste questioni sono state sottovalutate sia dai progettisti sia dai biologi, tant'è che rispetto alla tecnologia sviluppata e all'esperienza maturata nel campo dei passaggi per la risalita dei pesci, molto può essere ancora fatto nel campo della mitigazione degli impatti sulla fauna ittica in spostamento verso valle. L'urgenza di simili interventi è particolarmente grande per le specie diadrome (AA.VV., 1999), per le quali l'impossibilità di ridiscendere i corsi d'acqua si traduce in un danno grave a fasi chiave del ciclo vitale, quali la riproduzione (nel caso dell'anguilla) e l'accrescimento (nel caso degli storioni o delle cheppie).

Si faceva riferimento poco sopra a due ordini di problemi: il superamento della barriera artificiale da parte dei pesci in discesa e la loro deviazione in canali di derivazione, attratti dalla corrente. Di seguito sono descritti i differenti casi e le loro possibili soluzioni o mitigazioni.

8.1 Soluzioni e accorgimenti per agevolare il superamento delle barriere artificiali

Nel caso in cui i pesci, scendendo, giungano ad uno sbarramento, esso può essere di fatto superato dai pesci in discesa secondo diverse modalità, a seconda del tipo di barriera, della presenza o meno di un passaggio per la risalita dei pesci, anche idoneo a favorirne la discesa e, nel caso di sbarramenti a servizio di derivazioni idriche, delle modalità di rilascio del DMV e dell'eventuale volume d'acqua in eccesso. Sostanzialmente si prospettano i seguenti casi:

- i pesci possono scendere attraverso sfioratori o stramazzi;
- possono passare attraverso lo scarico del DMV;
- possono percorrere nel senso opposto i passaggi per la risalita dei pesci, anche idonei a consentirne la discesa;
- possono entrare nei canali di derivazione.

Per quanto concerne il primo caso, il passaggio dei pesci attraverso sfioratori o stramazzi può essere per essi sia una causa diretta di ferite o addirittura di morte, come può anche esserne una causa indiretta, disorientando i pesci e sconvolgendoli a tal punto da renderli maggiormente vulnerabili alla predazione. Il tasso di mortalità dei pesci dovuto al passaggio attraverso gli sfioratori o gli stramazzi è assai variabile, rientrando nel più ampio *range* tra lo 0% ed il 100% dei pesci danneggiati o uccisi (Larinier, 2002; Bell & Delacy, 1972 in O'Connor *et al.*, 2003; Ruggles & Murray, 1983); ciò fondamentalmente in dipendenza dell'altezza del salto, e dunque della velocità dell'acqua in caduta, all'aumentare della quale ovviamente aumentano i rischi per i pesci, ed anche delle dimensioni dei pesci stessi: più sono piccoli, meno sono vulnerabili all'impatto con la superficie dell'acqua a valle dello sbarramento.

La mortalità può essere provocata dalle abrasioni procurate contro la superficie dello stramazzo o dello sfioratore, o per la turbolenza generata subito a valle della diga, o per l'impatto con l'acqua.

Sperimentalmente è stato dimostrato che i pesci possono subire danni gravi, con lesioni alle branchie, agli occhi e agli organi interni, quando la velocità d'impatto con la superficie dell'acqua a valle dello sbarramento supera i 16 m/s, indipendentemente dalle dimensioni del pesce (Bell & Delacy, 1972). Il flusso d'acqua raggiunge la velocità critica per il pesce, dopo un salto di 13 m. Oltre questo limite, il numero di pesci feriti e uccisi aumenta rapidamente all'aumentare del salto (100% di mortalità per un dislivello di 50-60 m).

L'esperienza ancora dimostra che, in generale, i pesci di piccole dimensioni subiscono meno danni se superano il salto in caduta libera, piuttosto che all'interno della colonna d'acqua, perché la loro

velocità di salto è inferiore alla velocità critica. Per i pesci più grandi, invece, non ci sono differenze tra salto in caduta libera e salto all'interno della colonna d'acqua.

In base a quanto detto, appare evidente che:

- Per dighe che stabiliscano salti superiori a 10-13 m, occorre prevedere il passaggio dei pesci in discesa secondo vie alternative a sfioratori o stramazzi, che potrebbero rivelarsi anche mortali per la fauna ittica. Questo caso è comunque estremamente raro e riguarda, per quanto concerne la nostra Regione, per lo più sbarramenti a servizio di impianti idroelettrici in ambiente alpino, dove peraltro la fauna negli invasi artificiali è oggetto di immissione e riveste uno scarso interesse dal punto di vista conservazionistico. Non mancano però anche casi di sbarramenti più elevati di 13 m in ambiente prealpino: la diga di Creva, in Provincia di Varese, ne è un esempio. Essa, stabilendo un salto di 23 m, interrompe il Fiume Tresa e rende così impossibile il contatto tra i popolamenti ittici dei Laghi Maggiore e Ceresio. In questo caso, come negli altri casi di dighe molto elevate, occorre ristabilire la percorribilità fluviale nei due sensi, prospettando due soluzioni diverse: un ascensore per il passaggio dei pesci in risalita e strutture (che devono essere progettate per i singoli casi specifici) che fungano da "scivoli" per i pesci in discesa. In quest'ultimo caso, l'eventuale ricorso a barriere fisiche o comportamentali (le stesse cui si ricorre, come si vedrà al paragrafo successivo, per fare desistere i pesci dall'imboccare i canali di derivazione) potrebbe essere opportuno per creare un adeguato invito per i pesci ad imboccare l'ingresso dello scivolo, a meno che in questo non sia già convogliato tutto il DMV imposto al derivatore.
- Per briglie o dighe di altezza inferiore ai 10 m, si può considerare che lo stramazzo sia la tipologia di sfioro più favorevole in assoluto per i pesci in discesa, perché si riduce al minimo il rischio di abrasione del pesce a contatto con la superficie dell'eventuale canale di scarico; questo passaggio risulta peraltro particolarmente vantaggioso per i pesci di piccole dimensioni che, come detto, possono discendere in caduta libera. In questo caso, è evidente che la porzione di corso d'acqua subito a valle della diga debba garantire una profondità sufficiente della colonna d'acqua e debba essere il più possibile sgombra da elementi come massicciate, contro cui potrebbero scontrarsi i pesci in caduta, ferendosi anche mortalmente. Si consideri, inoltre, che nel caso gli sbarramenti siano dotati di passaggi per pesci, quali passaggi a bacini successivi o rampe in pietrame, questi, entro certi limiti (dipendenti dal dimensionamento e dalla conformazione delle opere), possono anche essere percorsi in discesa dai pesci senza alcun danno.

In corrispondenza di sbarramenti a servizio di derivazioni, i pesci possono anche trovare una possibile via per il superamento della barriera trasversale nello scarico del DMV. Questo può essere rilasciato sia a stramazzo o sfioro (e dunque valgono le considerazioni fatte sopra), sia con altre modalità, in dipendenza delle caratteristiche strutturali dello sbarramento. A questo proposito si deve, infatti, ricordare che l'imposizione del DMV alle derivazioni in ambito regionale è materia recentissima. Solo a decorrere dal 31/12/2008, alla sezione di ciascuna derivazione sul reticolo idrografico naturale, deve essere garantito un deflusso corrispondente al DMV idrologico del 10% della portata media naturale annua del corso d'acqua captato. Ciò ha reso perentorio l'adeguamento di tutte le opere di derivazione presenti sul territorio lombardo, che hanno dovuto escogitare soluzioni strutturali per il rilascio di un tale deflusso.

Buona parte delle dighe esistenti possiede sistemi di rilascio a valle dell'acqua in esubero, per il mantenimento di un livello costante dell'invaso di monte, che si basano sullo scarico attraverso fessure sul fondo o attraverso sfioratori di superficie. In caso di rilascio dal fondo, le fessure aperte sono alte pochi centimetri; esse, di conseguenza, tendono ad intasarsi frequentemente, se tenute aperte per lunghi periodi, soprattutto in corsi d'acqua con elevato trasporto solido, per cui non sono una soluzione idonea come modalità di scarico costante del DMV (sarebbero inoltre ben poco idonee ad essere attraversate senza traumi dai pesci). La soluzione più diffusamente adottata in questi casi è quella di realizzare, presso il fondo, una **luce a battente** nella parete di una delle paratoie della diga, dimensionata in modo tale da garantire il rilascio del DMV previsto per il caso specifico.

Tale luce può, in questo caso, essere individuata come la via di discesa per i pesci. Per rendere compatibile questo sistema con il passaggio concomitante dei pesci in maniera indenne, è in questo

caso necessario garantire la presenza, subito a valle del rilascio del DMV, di una buca sul fondo dell'alveo opportunamente dimensionata e sufficientemente profonda da consentire la completa dissipazione dell'energia della corrente e dunque l'arrivo dei pesci senza traumi, in un ambiente sgombro, anche in questo caso, da elementi di grosse dimensioni, contro cui i pesci stessi potrebbero urtare ferendosi.

A proposito del DMV e dell'adeguamento degli sbarramenti esistenti, si fa notare che recentemente ha cominciato a prendere piede una nuova tendenza, che prevede di sfruttare la portata del DMV, per realizzare una centralina di produzione idroelettrica, che turbinata tutto il volume d'acqua rilasciato. Si pone così con maggiore forza il problema del passaggio dei pesci, connesso con l'attraversamento delle turbine. In assenza di altri rilasci o di passaggi per la risalita dei pesci non utili per la discesa, questa potrebbe divenire l'unica via di discesa dei pesci e, per questo, deve essere progettata in modo da consentirne il passaggio in maniera indenne. Ciò può avvenire studiando soluzioni sito-specifiche di *bypass* per i pesci o, per piccoli impianti, considerando l'impiego di turbine innocue per la fauna ittica (si veda il paragrafo successivo).

8.2 Mitigazione del fenomeno della deviazione dei pesci in canali di derivazione

Occorre innanzitutto ricordare che la normativa regionale (Decreto del Dirigente della Struttura Valutazioni di impatto ambientale 28 aprile 2010, n. 4556, "Linee guida per gli studi di impatto ambientale e i piani di monitoraggio dei progetti di derivazione di acque superficiali") oggi prevede che: *"le prese delle derivazioni interessate da significative fuoriuscite di ittiofauna dal corso d'acqua verso il corpo idrico derivato andranno corredate di strutture atte a limitarne la fuoriuscita, quali griglie di luce idonea, barriere elettriche o di altro tipo, ecc.."*

In ordine alla valutazione della significatività della eventuale fuoriuscita di fauna ittica andrà considerato, oltre che il quantitativo di pesce potenzialmente sottratto al corso d'acqua, anche il livello di protezione desiderato per le singole specie ittiche interessate.

La protezione deve essere efficace per la taglia delle popolazioni presenti nel tratto di fiume, in modo da evitare impatti negativi sulle popolazioni presenti".

Di fatto, attualmente la gran parte degli sbarramenti a servizio di derivazioni idriche che utilizzano canali artificiali, per diverse ragioni (storiche, logistiche, economiche,...), sono privi di sistemi di deviazione dei pesci, che di fatto vengono attratti dalla corrente dei canali di derivazione.

Sia nel caso in cui lo sbarramento alimenti un canale della rete artificiale irrigua, sia in quello che alimenti un canale di adduzione ad una centrale di produzione idroelettrica, in genere accade che: mentre nei periodi idrologici di morbida del corso d'acqua naturale captato, la portata derivata è normalmente inferiore, anche di molto, a quella lasciata in alveo e dunque i pesci seguono di norma la via naturale di discesa del fiume, in condizioni di magra, è molto probabile che la portata derivata ecceda il deflusso minimo assicurato al fiume e dunque la corrente nel canale di derivazione eserciti sul pesce un effetto di richiamo, spingendolo a percorrere il canale (Kemp *et al.*, 2008).

Nel caso delle derivazioni che alimentano la rete artificiale irrigua, i pesci fanno il loro ingresso nel reticolo idrografico artificiale in gestione a consorzi e vari enti per l'irrigazione e la bonifica, inoltrandosi via via nella rete primaria e poi in quella secondaria, fatta di una miriade di canali e scoli per la distribuzione della risorsa idrica alla campagna, dalla quale difficilmente riguadagnano l'uscita verso il reticolo idrografico naturale. In questo caso, assume un ruolo fondamentale per la salvaguardia del patrimonio ittico l'opera di sistemazione e gestione ittiocompatibile e di riqualificazione fluviale del reticolo idrografico artificiale, cui è dedicato l'ultimo grande capitolo di questo volume (cui si rimanda per approfondimenti).

Nel caso delle derivazioni a scopo idroelettrico, imboccare la via artificiale molto spesso conduce il pesce alla morte. Le centrali fanno uso di turbine, che possono causare ai pesci danni gravi, se non la morte diretta. Uno dei fattori che contano maggiormente in questo caso sono le dimensioni dei pesci: minore è la loro taglia, più essi hanno la possibilità di attraversare indenni la turbina. Si noti che per specie come l'anguilla, i cui esemplari adulti in discesa verso il mare hanno taglie di norma superiori ai 50 cm, il tasso di mortalità degli individui che passano attraverso la turbina può

raggiungere percentuali realmente elevate (Coutant & Whitney, 2000). A questo proposito, si ricorda che oggi esistono anche altri tipi di turbina utilizzabili, quantomeno per salti di altezza contenuta, come la coclea idraulica, che possono essere attraversati dai pesci in maniera indenne; questo tipo di turbine però è utilizzabile per piccoli impianti.

A questo punto, i possibili interventi a difesa della fauna ittica sono i seguenti:

- nel caso di salti – per impianti da realizzare oppure con turbine da sostituire – prevedere l'utilizzo di tipologie di turbine innocue per la fauna ittica (per esempio la coclea idraulica);
- nel caso di impianti preesistenti e funzionanti, prevedere l'adozione di tecniche di dissuasione che facciano desistere i pesci dall'imboccare la via del canale artificiale, rispetto al corso d'acqua naturale derivato. In questo caso appare evidente, in base alla letteratura di settore disponibile, che le due tipologie di dissuasori maggiormente efficaci sono:
 - le barriere fisiche (ASCE, 1995; Larinier & Travade, 1999);
 - le barriere comportamentali (Odeh & Orvis, 1998 in Jungwirth *et al.*, 1998; OTA, 1995).

In questi ultimi anni, sono state fatte e documentate numerose esperienze nell'applicazione dei diversi tipi di dissuasori, nessuno dei quali può però ancora dirsi veramente efficace e valido in assoluto. Al momento i lavori svolti e la letteratura in proposito paiono suggerire l'adozione di sistemi che combinano barriere fisiche (griglie) con quelle comportamentali (in particolare barriere elettriche e luminose), come soluzioni in grado di offrire i migliori risultati (Travade *et al.*, 2010).

Dal momento che, nella realtà dei fatti, la deviazione della fauna ittica all'interno del reticolo artificiale è un fenomeno attualissimo, che coinvolge il patrimonio ittico dei più importanti sistemi idrici naturali lombardi, appare evidente la necessità di definire modalità e tecniche di gestione del reticolo idrografico artificiale, atte alla conservazione e all'incremento della fauna ittica presente. Per questi argomenti si rimanda, in particolare, al Capitolo contenente le Linee Guida per una gestione ittiocompatibile del reticolo idrografico artificiale.

EFFETTI DELLE ATTIVITÀ DI CANTIERE IN SEDE FLUVIALE E MISURE DI MITIGAZIONE

Attualmente, gli interventi sui corsi d'acqua del reticolo idrografico principale e secondario sono soggetti ad autorizzazione rilasciata dall'autorità idraulica competente (A.I.P.O., RL-STeR, Comune) e seguono la normativa di settore (Linee Guida all'interno della D.G.R. 8943 del 03/08/2007). Tali riferimenti normativi dettano prescrizioni esclusivamente in materia di protezione civile, di carattere idraulico e idro-geologico, ma non tengono conto delle esigenze e della vulnerabilità della componente vivente che colonizza i corsi d'acqua, in particolare dei pesci. Gli Uffici Pesca delle province lombarde hanno facoltà di dettare prescrizioni per l'esecuzione di lavori negli alvei fluviali, esclusivamente nei casi in cui si preveda il completo prosciugamento di tratti di corsi d'acqua. Come, infatti, recita l'art. 141 della Legge Regionale n. 31 del 05/12/2008:

«Art. 141

(Derivazione di acque in concessione e interventi sui corpi idrici)

...5. *Chi intende svuotare o interrompere corsi d'acqua o bacini che non siano soggetti ad asciutte per cause naturali, compresi quelli privati in comunicazione con acque pubbliche, è obbligato, salvo quanto previsto dal comma 8, a darne comunicazione alla provincia competente per territorio almeno trenta giorni prima dell'inizio dei lavori.*

6. *La provincia, entro la data di inizio dei lavori, impartisce all'interessato le prescrizioni a salvaguardia del patrimonio ittico e dispone gli adempimenti da eseguire a spese dello stesso per il successivo ripopolamento ittico del corpo posto in asciutta.*

7. *Nei tratti dei corsi d'acqua e dei bacini posti in asciutta completa la pesca è proibita; la fauna ittica eventualmente rimasta deve essere recuperata e immessa in acque pubbliche a spese di chi effettua il prosciugamento e sotto il controllo del personale incaricato dalla provincia interessata...».*

Ancora oggi, dunque, la normativa vigente contempla esclusivamente la messa in asciutta di tratti fluviali come unica eventualità di danno ai pesci che, per questo, dovranno essere recuperati e trasferiti prima di un tale intervento. Non si prevedono invece prescrizioni in tutti gli altri casi in cui si intenda intervenire in alveo senza ricorrere all'asciutta totale del tratto, tantomeno si suggeriscono

modalità e tecniche operative ittiocompatibili, in alternativa a quelle tradizionali di intervento in alveo. Si rafforza così l'idea che non occorra preoccuparsi della

componente biologica in particolare dei pesci, dal momento che essi possono quantomeno contare sulla permanenza dell'acqua nel tratto dei lavori. In realtà, le conoscenze sulle caratteristiche e sul funzionamento degli ecosistemi

fluviali, oltre che delle interazioni e delle connessioni profonde che legano le loro diverse componenti, biotiche e abiotiche, dovrebbero essere di supporto agli strumenti

normativi, favorendo l'elaborazione e la promulgazione di regolamenti

e prescrizioni che tengano conto di tutti i

potenziali effetti dei lavori in alveo.

Tutt'oggi la Normativa vigente contempla unicamente il caso dell'asciutta completa come causa di danno ai pesci ed individua il recupero della fauna ittica come unica misura di mitigazione.



Occorre dare importanza non solo all'assenza temporanea dell'acqua, ma anche alle modifiche temporanee o permanenti che i lavori in alveo possono richiedere o prevedere sull'habitat fluviale e ripario: esse, pur essendo localizzate e apparentemente marginali, potrebbero in realtà tradursi, nel breve oppure nel lungo periodo -a seconda della tipologia, delle tecniche e delle modalità di intervento- in alterazioni ben più estese, profonde e permanenti del corso d'acqua, interferendo così inevitabilmente e negativamente anche sull'evoluzione dell'ecosistema fluviale e sulla vita della fauna ittica.



Lavori in alveo gestiti con modalità non ittocompatibili.

A sinistra: Fiume Mera a Samolaco. Lavori in alveo.

A destra: Fiume Adda sublacuale a Calolziocorte. Trasporto solido nel fiume a valle del cantiere per la costruzione del ponte.

A tale proposito, bisogna comunque sottolineare che esistono delle eccezioni a quanto detto sinora. Si tratta, in particolare, dei casi in cui i tratti fluviali oggetto di intervento si trovano all'interno di un'area protetta nazionale o regionale, oppure di uno dei siti della Rete Natura 2000. Nel caso in cui il tratto fluviale di intervento sia all'interno di un Parco regionale o nazionale, quest'ultimo ha facoltà di dettare prescrizioni ai fini della salvaguardia dell'habitat e dei pesci, ma per farlo esso deve affidarsi esclusivamente alle competenze, all'esperienza in materia e alla sensibilità del proprio personale preposto, non essendo disponibile uno strumento standardizzato e riconosciuto (quantomeno a livello regionale), che sia di supporto alla definizione di tali prescrizioni. È evidente, dunque, che fornire delle linee guida con valenza regionale per l'esecuzione di lavori in alveo, potrebbe essere di grande utilità anche per i Parchi. Nel caso dei siti della Rete Natura 2000, esiste invece gli strumenti dello Studio di Incidenza e della procedura di Valutazione d'Incidenza (VI), ai sensi dell'Art. 6 della Direttiva 92/42/CEE e all'art. 5 del DPR 357/97, con i quali le criticità e la vulnerabilità del tratto fluviale in oggetto, perlomeno per quanto riguarda la fauna ittica e gli habitat di interesse comunitario, sono analizzate e tenute in considerazione per la definizione delle migliori alternative di intervento e, nel caso in cui esso si riveli necessario, delle più opportune misure di mitigazione e di compensazione a favore della biodiversità naturale. Grazie a tali strumenti, si può considerare che gli ecosistemi fluviali inseriti nella Rete Natura 2000 siano oggi adeguatamente tutelati; anche in quest'ultimo caso, comunque, linee guida standardizzate su questo argomento potrebbero rivelarsi un ottimo supporto, sia per gli autori degli studi da sottoporre alla procedura di approvazione, sia per gli Enti gestori dei siti della Rete Natura 2000, preposti alla VI.

Un ultimo caso, non ancora accennato, riguarda le opere assoggettate a procedura di VIA, oppure a procedura di verifica di assoggettabilità a VIA (di cui alla L.R. n. 5 del 02/02/2010). Nel caso cioè la realizzazione di un'opera soggetta ad una delle due procedure preveda l'intervento in alveo, grazie allo Studio di Impatto Ambientale nel primo caso e allo Studio Preliminare Ambientale nel secondo, sono già oggi approfonditi gli aspetti cantieristici di potenziale impatto per i pesci e dunque delineate le migliori metodologie, tecniche ed alternative di intervento. Anche in questo caso però, come in quello della procedura di VI, ci si affida esclusivamente all'esperienza e alle competenze degli autori dello SIA e del personale dell'autorità competente.

È dunque evidente che la disponibilità di riferimenti specifici, come le presenti Linee Guida, non solo conferirebbe agli Uffici Pesca delle Province l'autorità di imporre prescrizioni in nome della salvaguardia degli habitat fluviali e dei pesci, ma offrirebbe anche a tutti i soggetti interessati – tecnici, progettisti, realizzatori, Autorità competenti in materia di VIA, Enti gestori delle Aree Protette e dei siti della Rete Natura 2000 – uno strumento tecnico-scientifico utile a definire le

modalità di intervento in alveo, secondo gli standard riconosciuti a livello regionale.

Il presente capitolo è pertanto volto a fornire indicazioni per i metodi e le buone pratiche di gestione e realizzazione di lavori in alveo, atti ad evitare o quantomeno a ridurre e/o a mitigare l'impatto sull'ecosistema fluviale, in tutte le sue componenti. Intervenire all'interno o in prossimità degli alvei dei fiumi può infatti causare danni anche molto pesanti agli ecosistemi fluviali, alterando la qualità dell'acqua, modificando l'habitat ripario e quello acquatico e danneggiando così il biota, in particolare i pesci. In tutti i casi, intervenire negli alvei dei fiumi costituisce una potenziale minaccia per gli ecosistemi fluviali e ripari; per questa ragione tali interventi dovrebbero essere il più possibile limitati. Si verifica però un'elevata frequenza delle occasioni di intervento in alveo: basti pensare a quante volte si impone l'esigenza di lavorare in alveo o in prossimità di esso per l'installazione, la manutenzione o la rimozione di canali sotterranei, di ponti, di guadi, di gasdotti, di varie opere di pubblica utilità, di derivazioni d'acqua, di sbarramenti fluviali, e altro ancora; oppure a quanto spesso capiti di dover intervenire per la stabilizzazione delle sponde e per la sistemazione e la manutenzione di argini esistenti o di altre opere di difesa spondale o per la costruzione di nuovi argini e di nuove opere di difesa dalle esondazioni e dall'erosione. In tutti questi casi è necessario lavorare in alveo; di conseguenza non resta che stabilire nuove regole e nuovi *standard*, affinché questo avvenga con il minore impatto sull'ecosistema e sulla fauna ittica.

Esiste, inoltre, l'eventualità di intervenire sui canali artificiali della rete irrigua, per il restauro di manufatti, la manutenzione stessa dei canali, il taglio della vegetazione, ma questo argomento e le migliori pratiche per eseguire tali lavori verranno trattati a parte, nel capitolo dedicato alla "Gestione dei corsi d'acqua della rete artificiale".

È scontato, infine, ricordare che evidentemente anche tutti gli interventi compiuti a favore della fauna ittica, volti al ripristino della naturalità di habitat acquatici profondamente alterati, prevedendo necessariamente lavori in alveo e in prossimità dell'alveo, oltre ad avvalersi esclusivamente delle modalità e delle tecniche progettuali e operative previste dalla riqualificazione fluviale (si vedano i capitoli precedenti), debbano necessariamente seguire le linee guida proposte in queste pagine.

Questa parte del quaderno si articola in:

- un primo capitolo che illustra i possibili IMPATTI sulla fauna ittica derivanti dagli interventi nei corsi d'acqua e dai lavori in alveo;
- un secondo capitolo (DECALOGO) che richiama le principali regole generali per la progettazione e la pianificazione di interventi in alveo, salvaguardando i pesci;
- un terzo capitolo in cui sono suggerite le BUONE PRATICHE per l'esecuzione di lavori in alveo;
- un quarto capitolo concentrato sulle BUONE PRATICHE di manutenzione della vegetazione riparia;
- un ultimo capitolo dedicato al MONITORAGGIO dei lavori in alveo, ed in particolare a come dovrebbe essere pianificata e organizzata questa attività al fine di verificare l'effettivo impatto dei lavori sulla fauna ittica.

9. IMPATTO POTENZIALE DEGLI INTERVENTI NEI CORSI D'ACQUA E DEI LAVORI IN ALVEO SUGLI HABITAT NATURALI E SUI PESCI

Prima di compiere lavori in alveo, è necessario chiedersi quali effetti i lavori previsti potrebbero sortire sull'ecosistema acquatico e ripario. Per poterlo fare, occorre riprendere alcuni concetti e definizioni di ecologia, che aiutano a comprendere la natura dei rapporti tra l'ecosistema fluviale e le perturbazioni esterne, quali possono essere i lavori in alveo.

Un ecosistema fluviale è un sistema complesso e dinamico, in cui la comunità vegetale, quella animale e la componente non vivente (abiotica) sono relazionate tra loro e fortemente interdipendenti. Tutte le parti dell'ecosistema, comprese le caratteristiche fisiche e chimiche e la componente biologica influenzano e sono influenzate da tutte le altre parti. È dunque evidente che l'alterazione

rispetto alle condizioni naturali di una delle componenti dell'ecosistema, in questo caso del fiume, si traduce nel danno a tutte le altre componenti, inclusa la comunità ittica. Come accennato, un corso d'acqua è un sistema dinamico: esso di fatto è protagonista di una continua evoluzione. Per arrivare ad uno stato di equilibrio stazionario (*steady state*), che lo caratterizza in età matura, è prima passato attraverso vari stadi di evoluzione per tappe distinte, che hanno visto la colonizzazione da parte delle specie pioniere, i produttori, e più tardi lo stabilirsi dei consumatori primari. Questo fenomeno è denominato "successione" o *preclimax* in quanto, a seconda della fase evolutiva in cui si trova l'ecosistema, si succedono biocenosi transitorie diversamente composte e strutturate. Nel corso del tempo le biocenosi si modificano e l'ecosistema diventa sempre più complesso e stabile, diversamente sensibile, resistente e reattivo nei confronti delle sollecitazioni che derivano ad esso dall'ambiente esterno. In età matura dell'ecosistema, il *preclimax* culmina in una tappa stabile, che si mantiene in armonia con l'ambiente circostante. Questo stadio maturo è noto con il nome di *climax*: esso è lo stadio di equilibrio stabile che si instaura tra la componente abiotica e quella biotica di un ecosistema. Una volta raggiunto lo stadio di *climax*, una comunità può essere alterata o addirittura cancellata dall'ecosistema fluviale solo a seguito di cambiamenti molto radicali che, considerando i fenomeni naturali, possono essere sostanzialmente ricondotti ad eventi eccezionali di natura geologica o climatica. Tali eventi possono perturbare l'ecosistema, arrivando a provocare danni anche irreversibili per la componente biotica.

Le caratteristiche che definiscono la pericolosità di una perturbazione sono evidentemente: l'intensità, la frequenza e la scala. L'intensità viene misurata dalla proporzione dei danni provocati alle diverse componenti dell'ecosistema fluviale. La frequenza è il numero di perturbazioni che si verificano in un intervallo di tempo. La scala rappresenta l'estensione, le dimensioni dell'impatto della perturbazione sull'ecosistema. Una perturbazione su piccola scala è, per esempio, uno scarico puntiforme di natura organica e di piccola entità in un grande corso d'acqua, il cui effetto sul fiume è diluito a pochi metri dall'immissione ed ha effetto esclusivamente sulla componente biotica sessile e con limitate capacità di movimento (come alcune componenti del benthos) in un'area estremamente circoscritta. Una perturbazione su larga scala può essere invece lo scarico in fiume di sostanze tossiche persistenti, bioaccumulate lungo la catena alimentare e dunque maggiormente pericolose per i predatori e anche, ovviamente, per l'uomo stesso. Da parte sua, invece, un ecosistema naturale e dunque anche un fiume, è dotato di proprie caratteristiche di resistenza e resilienza alle perturbazioni, strettamente connesse allo stadio di evoluzione in cui si trova, ma anche alla tipologia, intensità, frequenza e scala delle perturbazioni, come detto. La resistenza designa la capacità dell'ecosistema, o della biocenosi, di opporsi alla perturbazione, innanzitutto evitandola o comunque attenuandone gli effetti, ma comportando in questo caso il raggiungimento di nuove condizioni, diverse da quelle precedenti la perturbazione. La resilienza, invece, designa la velocità con cui un ecosistema o, in questo caso, la comunità ittica ritorna al suo stato precedente, dopo essere stata perturbata ed avere subito delle modificazioni alla propria struttura o composizione (Begon *et al.*, 1999).

È importante notare che, nella gran parte dei casi, si verifica che un ecosistema o una comunità molto resistente è, al tempo stesso, poco resiliente, cioè resiste alla perturbazione limitandone i danni, ma, per farlo, sacrifica il suo stato originario in favore di uno nuovo, più adatto alle differenti condizioni offerte; per esempio, la comunità ittica può sacrificare specie stenoece (fortemente selettive dal punto di vista della qualità ambientale), in favore di specie euriecie (cioè adattabili anche a condizioni di degrado dell'habitat), innescando un processo di trasformazione che porterà all'affermarsi di una comunità diversamente strutturata e composta rispetto all'originale, prima della perturbazione; ciò ovviamente potrebbe significare la perdita di elementi faunistici di pregio e dunque un danno grave al patrimonio di biodiversità. Inversamente, solitamente accade che un ecosistema o una comunità spiccatamente resiliente sia poco resistente e dunque, pur non riuscendo ad opporsi all'evento di perturbazione, sia in grado, in un tempo più o meno lungo, di riacquistare il proprio stato originario.

In un'ottica di conservazione faunistica, è evidente che tutti questi aspetti devono essere tenuti in grande conto al momento della pianificazione e progettazione di interventi all'interno o in prossimità degli alvei fluviali. Da questo punto di vista, anzi, l'approfondimento delle caratteristiche di resistenza e resilienza di una comunità ittica non può fermarsi a tale livello di organizzazione, ma deve scendere al livello di popolazione ed anche di individuo, analizzando capacità di resistenza e resilienza delle singole specie presenti, in virtù delle proprie caratteristiche fisiologiche, biologiche

ed autoecologiche, in modo da prevedere tutte le possibili risposte della comunità ittica all'evento perturbativo ed individuarne i punti di forza e di debolezza.

Per le relazioni di forte interdipendenza che legano la comunità ittica al resto della componente biotica ed alla componente abiotica, è inoltre altrettanto evidente che, nel caso occorra intervenire sui corsi d'acqua, debba essere esaminato nel dettaglio lo stato dell'ambiente acquatico e ripario nei suoi diversi aspetti di qualità e quantità dell'acqua, caratteristiche idraulico-morfologiche e strutturali del corso d'acqua, qualità e quantità delle comunità vegetali e animali facenti parte della catena alimentare acquatica. Nella gran parte dei casi, in effetti, i lavori in alveo, più che essere direttamente impattanti sulla fauna ittica presente, lo sono indirettamente, danneggiando una o più delle altre componenti dell'ecosistema fluviale.

In base a quanto detto, i potenziali impatti sulla fauna ittica di un corso d'acqua, derivante dagli interventi in alveo o in prossimità dell'alveo, sono numerosi e di diverso tipo (B.C. Ministry of Water, Land and Air Protection, 2004), anche in dipendenza della fase in cui si trova l'intervento stesso, di esercizio oppure di cantiere.

In linea generale, le tipologie di impatto individuabili possono essere suddivise sulla base del fatto che siano originate da una di queste due fasi d'intervento:

- impatti sulla fauna ittica derivanti dalla fase di esercizio dell'intervento realizzato;
- impatti sulla fauna ittica derivanti dalla fase di cantiere dell'intervento.

9.1 Impatti sulla fauna ittica derivanti dalla fase di esercizio degli interventi in alveo

Per quanto concerne la fase di esercizio di un'opera/intervento che interessi l'alveo, gli impatti rilevanti che ne possono derivare riguardano l'alterazione strutturale e morfologica degli alvei fluviali e dunque perturbazioni su larga scala, sia temporale sia spaziale.

Gli interventi in alveo possono modificare i processi di evoluzione morfologica e strutturale degli alvei fluviali, interferendo fortemente con le dinamiche di evoluzione naturale dell'alveo, naturalmente portato a modificare il proprio tracciato nel tempo, all'interno della pianura alluvionale. Opere e lavori che cambiano la sezione di flusso o entrano in conflitto con la pianura alluvionale di un corso d'acqua, intervenendo sui naturali processi di evoluzione dell'alveo, possono comportare alterazioni radicali dell'habitat acquatico, conducendo alla perdita di micro- e meso-habitat particolari, oppure causando la perdita di connettività trasversale con zone umide, che potrebbero interrarsi e dunque scomparire con tempi accelerati rispetto al loro processo evolutivo naturale. A loro volta, le alterazioni dell'habitat possono causare gravi ripercussioni sulle biocenosi, in particolare sulla comunità ittica, dovute alla perdita della vocazionalità naturale e dell'originaria idoneità ad ospitare una certa comunità, con caratteristiche di struttura e composizione definite da processi naturali di evoluzione e non da eventi di perturbazione esterna.

Intervento di rimodellamento del profilo e della morfologia dell'alveo del Fiume Adda a Sondalo (SO).





Fiume Adda a Tirano (SO). Rettificazione e canalizzazione del fiume nel tratto cittadino.

Opere ed interventi nella loro fase di esercizio possono anche alterare localmente ed in maniera permanente l'habitat naturale originario, definendo una diversa (spesso minore) idoneità e/o vocazione ad ospitare fauna ittica di quello specifico tratto fluviale, interferendo con la sua funzionalità ecologica, con danni anche gravi per alcune o anche tutte le specie ittiche presenti.



Torrente Roasco a Grosotto (SO). Tratto naturale a monte del paese e tratto artificializzato in corrispondenza dell'abitato.

Opere e/o interventi sui corsi d'acqua possono anche interrompere altrettanto permanentemente la continuità e la connettività longitudinale e/o la connettività trasversale, dell'ecosistema fluviale, con evidenti gravi effetti sulla fauna ittica, non solo perchè fortemente limitata negli spostamenti, ma anche perchè colpita dal peggioramento delle condizioni ambientali di qualità dell'acqua, disponibilità di cibo e di habitat critici per la propria sopravvivenza.

9.2 Impatti sulla fauna ittica derivanti dalla fase di cantiere degli interventi in alveo

Come già accennato in premessa al capitolo, opere ed interventi all'interno ed in prossimità degli alvei non sono però potenzialmente dannosi per gli ecosistemi fluviali e per la fauna ittica esclusivamente nella loro fase di esercizio; essi lo possono anche essere nella loro fase di cantiere. In questo caso, le perturbazioni imposte ai corsi d'acqua ed alla fauna ittica sono a carattere temporaneo, ma possono anche rivelarsi estremamente dannose e persistenti, se non adeguatamente mitigate o evitate.

I tipi di impatto individuabili in questo caso sono:

- alterazione dell'habitat, con degrado e perdita di habitat naturali e alterazione della qualità dell'acqua;
- alterazione della vegetazione riparia;
- interruzione dei corsi d'acqua.

Impatto derivante dall'alterazione dell'habitat. Compiere lavori in alveo può anche causare alterazioni dirette degli habitat acquatici, che possono essere distrutti, ridotti in estensione e/o frammentati, per fare posto all'area di cantiere e/o all'opera in restauro o installazione. Tali habitat potrebbero però risultare critici per la sopravvivenza di specie ittiche di interesse conservazionistico,

essendo indispensabili per lo svolgimento di fasi vitali del proprio ciclo biologico, come la riproduzione o il primo accrescimento delle larve. Allo stesso modo, lavorare in alveo potrebbe alterare i processi di trasporto solido e sedimentazione, esponendo anche in questo caso i pesci ad impatti negativi pesanti, legati non solo alla tossicità diretta del materiale sospeso, ma per esempio anche alla perdita della componente bentonica -anello chiave della catena alimentare acquatica- in seguito all'intasamento del substrato di fondo, oppure all'intasamento e/o alterazione del substrato di fondo dell'alveo in corrispondenza delle zone di riproduzione, che perderebbero così di funzionalità.

Lo stesso aumento del trasporto solido altererebbe la qualità dell'acqua, facendo aumentare la torbidità ed esponendo anche i pesci, ed insieme a loro anche le altre componenti biotiche dell'ecosistema, all'eventuale tossicità diretta del materiale sospeso o ad altri problemi che ne potrebbero causare patologie serie ed anche la morte. Alcuni dei possibili effetti sui pesci sono (Newcombe & MacDonald, 1991; Calow & Petts, 1992; Newcombe, 1994 e 1996):

- un'azione meccanica (abrasione e occlusione) sugli apparati respiratori e alimentari dei pesci e degli invertebrati e sulla componente vegetale acquatica;
- un'alterazione del comportamento degli organismi che utilizzano la vista come percezione sensoriale, le cui capacità di individuare le prede, oppure i predatori, e stabilire relazioni sociali, sarebbero limitate dalla scarsa o nulla visibilità dovuta alla torbidità;
- la distruzione dei *microhabitat* interstiziali di fondo, indispensabili alla vita sia degli invertebrati che dei primi stadi vitali dei pesci (uova e larve dei Salmonidi), che verrebbero occlusi dal sedimento fine che si deposita sul fondo;
- alterazioni a livello di *mesohabitat*, quando l'apporto di sedimento a valle è tale da determinare il riempimento delle pozze e la formazione di barre e isole di ghiaia nei raschi;
- problemi di deficit di ossigeno e di tossicità diretta, per esempio per la presenza di ammoniaca e di metalli pesanti nei sedimenti.

Sostanzialmente, gli effetti nocivi dei sedimenti sospesi sugli organismi acquatici possono essere raggruppati in tre categorie principali (Newcombe & MacDonald, 1991):

1. Effetti comportamentali: vengono modificati i modelli comportamentali caratteristici di un organismo in ambiente non perturbato.
2. Effetti subletali: alterano i tessuti o la fisiologia degli organismi, ma in modo non abbastanza grave da causarne la morte.
3. Effetti letali: causano la morte di singoli individui, riducono la consistenza numerica della popolazione o ne danneggiano la capacità di autosostentamento.

L'entità dell'effetto dei sedimenti sospesi sugli organismi non è unicamente funzione della concentrazione degli stessi, ma dipende anche dalla durata dell'esposizione; da tale constatazione nasce il concetto di "dose", definito come il prodotto della concentrazione dei sedimenti sospesi per il tempo di esposizione, e ad esso si fa riferimento per la valutazione dei rischi potenziali per la vita acquatica indotti dai sedimenti sospesi (Newcombe & MacDonald, 1991). Una rassegna vasta e completa degli effetti dei sedimenti sospesi sugli organismi acquatici è stata compilata da Newcombe (1994; 1996), sulla base di numerosi dati bibliografici; tale autore ha redatto una scala di severità degli effetti (SE) in base alla loro gravità, secondo una classe di punteggio da 0 (nessun effetto) a 14 (effetto più grave). Il tempo di recupero spontaneo dell'ecosistema fluviale dipenderà, oltre che dall'entità dell'effetto subito, dal verificarsi di piene naturali in grado di ripulire l'alveo dal sedimento fine e dalla possibilità di ricolonizzazione spontanea da parte della fauna acquatica proveniente da ambienti laterali rimasti integri.

Anche lo sversamento in acqua di sostanze tossiche come il calcestruzzo o altri prodotti del cemento, oli combustibili, residui di legno, erbicidi e pesticidi, può uccidere pesci, anfibi, insetti e tutti gli altri organismi acquatici o alterare talmente la qualità dell'acqua del corso d'acqua da mettere in serio pericolo la vita acquatica.



Lavori in alveo sul Torrente Liro a Campodolcino (SO).

Impatto derivante dall'alterazione della vegetazione riparia. La vegetazione riparia è fondamentale per la salute dell'ecosistema acquatico. La rilevanza del suo ruolo è dovuta alle molteplici funzioni che svolge:

- fornire materiale legnoso all'ecosistema fluviale, che contribuisce alla complessità e alla diversità dell'ambiente acquatico, favorendo la formazione di particolari micro-habitat e contribuendo così alla biodiversità del corso d'acqua stesso;
- fornire un contributo essenziale alle capacità auto-depurative del corso d'acqua, grazie all'azione di tampone nei confronti della qualità dell'acqua;
- intercettare, filtrare e depurare efficacemente l'apporto inquinante e di detriti che può derivare al fiume con il dilavamento superficiale;
- fornire cibo (animali come insetti e materiale vegetale) e nutrienti all'ecosistema acquatico;
- stabilizzare efficacemente le sponde con i propri apparati radicali, che creano una trama di tessuto vivo che lega le particelle minerali e aumenta così la coesione del suolo. Questa proprietà è stata sfruttata dall'ingegneria naturalistica, che utilizza salici e ontano nero negli interventi di consolidamento spondale;
- assicurare l'ombreggiamento che può influenzare anche pesantemente il regime di temperatura dell'acqua e le successioni vegetali acquatiche. È stato, infatti, riscontrato che l'eliminazione della vegetazione riparia può provocare un aumento medio di 3-10°C delle temperature massime estive (in inverno solo 1-2°C), con variazioni quotidiane fino a 15°C. Ciò si ripercuote sulle comunità acquatiche, con alterazione del ciclo vitale dei macroinvertebrati e della qualità del cibo disponibile, con riduzione dell'ossigeno disciolto e con l'instaurarsi di condizioni particolarmente difficili per le specie stenoterme fredde;
- fornire un rifugio alla fauna acquatica dai propri predatori;
- rallentare il deflusso e dunque attuare un'azione antierosiva. La presenza di vegetazione produce per attrito una riduzione della corrente e della sua capacità erosiva.

Le fasce riparie vegetate naturalmente vantano anche un loro proprio pregio, legato al fatto che in esse si stabiliscono delle condizioni microclimatiche e ambientali del tutto peculiari, che giustificano la presenza di un biota a sua volta specifico e meritevole di salvaguardia e conservazione.

Da tutto ciò risulta chiaro che un qualsiasi danno o addirittura la rimozione della fascia ripariale vegetata naturalmente si può tradurre in un impatto negativo anche di grossa entità sia sull'ecosistema acquatico, direttamente sull'habitat e indirettamente sulle componenti viventi, sia in particolare sulla fauna ittica, a cui non solo verrebbero a mancare importanti zone di rifugio, ma che, più gravemente, potrebbe vedersi alterare il proprio habitat acquatico, a partire dal regime di temperatura dell'acqua, fino alla disponibilità di cibo.

Impatto derivante dall'interruzione dei corsi d'acqua. Un ennesimo potenziale impatto dell'esecuzione di lavori in alveo è la possibile interruzione completa della continuità del corso d'acqua, che impedirebbe gli spostamenti ai pesci. I motivi, che spingono i pesci a muoversi lungo i fiumi ed i tempi in cui si concentrano le migrazioni, sono già stati analizzati nel capitolo riguardante

i passaggi per pesci e per questo non saranno ripresi in questa sede. Questi aspetti, comunque, rendono conto del fatto che, anche nel caso in cui l'interruzione del corso d'acqua riguardi esclusivamente la fase di cantiere, essa, se non adeguatamente programmata, può determinare danni anche gravi o addirittura permanenti se non con tempi comunque lunghi di ripresa, per la fauna ittica locale. Occorre, in questo caso, sottolineare anche l'importanza della continuità della fascia riparia vegetata, che può svolgere un ulteriore ruolo importante, oltre a quelli già ricordati al punto precedente, come corridoio ecologico e dunque elemento di connessione delle reti ecologiche e via di migrazione per animali terrestri, anfibi e uccelli.

10. DECALOGO DELLA PROGETTAZIONE E PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI IN ALVEO

Per rendere gli interventi in alveo un'attività ittiocompatibile, è necessario che, nella loro progettazione e pianificazione, gli stessi progettisti, affiancati da esperti "naturalisti", tengano conto di tutti gli aspetti ecosistemici, naturalistici e faunistici critici che caratterizzano l'area di progetto. Potranno così essere previsti e messi in atto, compatibilmente con le condizioni operative del singolo cantiere, tutti gli accorgimenti e le soluzioni necessari a salvaguardare la fauna ittica presente.

Una corretta pianificazione e progettazione degli interventi deve essere conforme al seguente decalogo, la cui applicazione è tanto più raccomandata in funzione della rilevanza del corpo idrico interessato. Seguendo queste poche regole, sarà possibile pianificare cantieri in alveo ittiocompatibili, quantomeno nella concezione. Occorrerà poi anche seguire le "buone pratiche per l'esecuzione dei lavori in alveo" enunciate nel paragrafo successivo, per garantire l'ittiocompatibilità degli stessi interventi al momento della loro realizzazione.

Le dieci regole generali per la progettazione e la pianificazione di lavori in alveo, in particolare della porzione stabilmente bagnata, compatibili con la fauna ittica sono:

Dieci regole fondamentali per rendere ittiocompatibili le attività di cantiere in alveo.

1. verificare e, se possibile, riconsiderare le reali necessità di coinvolgimento dell'alveo, per la realizzazione dell'intervento;
2. vagliare e adottare tutte le possibili soluzioni di minimizzazione dell'intervento;
3. definire la composizione del popolamento ittico locale;
4. verificare possibili interferenze con habitat preferenziali e/o critici per la fauna ittica e vagliare eventuali localizzazioni alternative;
5. pianificare i lavori in alveo, tenendo conto del periodo riproduttivo delle specie ittiche di interesse conservazionistico e/o alienatico;
6. analizzare e stimare eventuali alterazioni di habitat critici per specie ittiche di interesse conservazionistico o comunque critici per la funzionalità dell'intero ecosistema fluviale (come la fascia litorale vegetata o le fasce ripariali vegetate) e prevedere le opportune misure di salvaguardia e/o ripristino;
7. prevedere, se possibile, di lavorare "all'asciutto", in un'area isolata dall'alveo bagnato;
8. preferire, per quanto possibile, un coinvolgimento parziale (o, nel caso, graduale) della sezione dell'alveo bagnato nell'area di cantiere, rispetto alla completa deviazione del deflusso idrico fuori dall'alveo naturale, in elementi artificiali;
9. prevedere l'adozione di modalità e tecniche costruttive ed operative il più possibile tratte dall'ingegneria naturalistica;
10. cogliere il più possibile le opportunità di incremento e ripristino della naturalità, con particolare riguardo al ripristino della percorribilità fluviale da parte dei pesci ed all'introduzione di elementi di eterogeneità morfologica.

Prima di dettagliare ciascuno dei punti elencati, si anticipa che, qualora per ragioni di urgenza e necessità dettate da motivi di sicurezza e incolumità pubblica, non sia possibile sottostare al decalogo enunciato e le operazioni in alveo comportino necessariamente un danno alla fauna ittica, tale danno potrà essere quantificato ed essere così tradotto in una compensazione. Una tale misura deve comunque essere presa in considerazione solo al termine di un processo di valutazione, che abbia coinvolto tutti i soggetti interessati -progettisti, autorità competente in materia di autorizzazione ai lavori, autorità preposta alla gestione e alla salvaguardia della risorsa ittica- e con il quale siano state vagliate tutte le possibili soluzioni alternative di ittiocompatibilizzazione dell'intervento.

Qualora, inoltre, emerga la necessità di intervenire in alveo per periodi più lunghi complessivamente di tre settimane e gli ambienti interessati rivelino ospitare specie di interesse conservazionistico, si potrà prevedere la redazione di un "Piano di Rischio per la Fauna Ittica", i cui contenuti minimi sono espressi nel paragrafo relativo al monitoraggio, in coda al presente Capitolo.

1. Verificare e, se possibile, riconsiderare le reali necessità di coinvolgimento dell'alveo per

la realizzazione dell'intervento. Innanzitutto, come già si accennava in premessa, lavorare in alveo comporta sempre e comunque un danno all'ecosistema naturale, per quanto minimo e circoscritto nello spazio e nel tempo. Per questo motivo, occorre sottolineare nuovamente che la prima domanda che occorre porsi è se l'intervento in alveo sia davvero necessario o se siano possibili soluzioni tecniche che non comportino il coinvolgimento del corso d'acqua. Tralasciando i casi di interventi legati alla realizzazione di opere e progetti che richiedono l'assoggettamento a procedura di VIA, oppure a procedura di verifica di assoggettabilità a VIA (ai sensi della L.R. 2 febbraio 2010 n.5) o ancora a procedura di VI (ai sensi del DPR 357/97 del suo recepimento regionale D.G.R. 14106 dell'8/8/2003), all'interno delle quali l'opportunità dell'intervento dovrebbe essere sufficientemente presa in esame e valutata, sia dai tecnici incaricati degli studi da sottoporre a valutazione e dai progettisti sia dalle autorità competenti, è evidente che, ovunque sussistano condizioni di rischio idro-geologico o comunque di rischio per la salute e la sicurezza pubblica, l'intervento all'interno o in prossimità dell'alveo si rende necessario. Altrettanto necessari devono essere considerati gli interventi in alveo volti al ripristino della naturalità di ambienti fluviali profondamente alterati e degradati, con grave danno per la comunità ittica e per gli ecosistemi in generale, laddove soprattutto, con la verifica prevista al punto 2 del presente decalogo, si rilevi l'esistenza di entità di interesse conservazionistico, come specie o habitat di interesse comunitario (ai sensi della Direttiva Habitat 92/43/CEE) o specie ittiche prioritarie per la Regione Lombardia (ai sensi della D.G.R. 20 aprile 2001, n. 7/4345), e si ravvisino poche possibilità di recupero spontaneo dell'ecosistema e/o tempi lunghissimi per tale ripresa.

2. Vagliare e adottare tutte le possibili soluzioni di minimizzazione dell'intervento. Una qualsivoglia opera su di un corso d'acqua deve essere concepita in modo da ridurre il più possibile l'intervento nello spazio, per quanto riguarda l'opera finita, nel tempo e nello spazio, per quanto riguarda la fase di cantiere. In altri termini, nella fase di progettazione e pianificazione dell'intervento, devono essere previsti tutti gli accorgimenti e le modalità operative che garantiscano l'ottimizzazione del lavoro, con sicuro beneficio non solo economico, ma anche ecologico, per gli ambienti naturali. In merito all'opera finita, che ovviamente dovrà perpetuare il più a lungo possibile la propria funzionalità, essa dovrà anche risultare meno invasiva e meno estesa possibile; per inciso, si ricorda nuovamente che l'impiego di tecniche e modalità costruttive proprie della riqualificazione fluviale e dell'ingegneria naturalistica renderà l'opera, non solo efficace rispetto alla funzione principale per cui sarà stata realizzata (difesa idro-geologica, sicurezza e/o utilità pubblica), ma anche ecologicamente funzionale ed integrata con l'ecosistema fluviale e ripario e con il paesaggio. In questo senso, il tempo sarà un alleato importante del processo di integrazione, naturalizzazione e rafforzamento della funzionalità per molti tipi di opere realizzabili, se opportunamente progettate, in particolare per gli interventi di difesa idraulica e idro-geologica. Una minimizzazione più radicale riguarda invece la fase di cantiere, per la quale è necessario che, non solo siano ridotti il più possibile gli spazi utilizzati, ma siano anche ridotti i tempi di esecuzione dei lavori. Per la salvaguardia dell'habitat e degli ecosistemi fluviale e ripario, si raccomanda in linea generale quanto segue:

- i lavori in alveo siano il più possibile rapidi e concentrati in un'unica occasione;
- l'organizzazione del lavoro sia ottimizzata ad un punto tale da consentire l'esecuzione di più interventi contemporaneamente;
- sia rispettato il calendario delle riproduzioni dei pesci (come ripreso al successivo punto di questo decalogo) ed anche quello delle migrazioni, in parte sovrapponibile;
- l'area di cantiere in alveo sia la più ridotta possibile e consenta il regolare deflusso idrico delle acque in alveo, prevedendo, per quanto possibile, un'asciutta parziale della sezione (come enunciato al punto 7 del presente decalogo).

Un'ulteriore avvertenza per la pianificazione e la progettazione dei lavori in alveo, suggerita dai criteri di minimizzazione e ottimizzazione enunciati in questo punto, consiste nell'analizzare il tratto fluviale con un approccio predittivo. È cioè opportuno valutare la possibilità che, in un futuro prossimo, si renda necessario intervenire nuovamente in alveo nel medesimo tratto,

per ulteriori opere di sistemazione o regimazione idraulica o di manutenzione, installazione o smantellamento; i probabili interventi da compiere a breve termine andrebbero in questo caso programmati e realizzati cogliendo l'occasione presente. In questo modo, si eviterebbe la riapertura in tempi brevi di un cantiere nello stesso tratto; si ricorda, a tale proposito, l'importanza della frequenza delle perturbazioni come fattore decisivo per l'impatto sugli ecosistemi naturali.

3. Definire la composizione del popolamento ittico locale. Una volta stabilito che l'intervento è necessario, occorre verificare se il tratto fluviale, in cui si prevede di intervenire, sia critico per la fauna ittica nativa. Occorre cioè eseguire un approfondimento scientifico (anche grazie alla letteratura di settore già disponibile, come: Carte Ittiche e Piani Ittici Provinciali, Piani di Settore dei Parchi, lavori di ricerca, monitoraggi e progetti specifici condotti sulla fauna ittica locale) sul valore ecologico, naturalistico e faunistico del tratto fluviale in questione, sempre in riferimento al patrimonio ittiofaunistico. Devono essere, in particolare, analizzati alcuni aspetti ritenuti essenziali per definire le caratteristiche di resilienza e resistenza (come descritto nel paragrafo relativo ai potenziali impatti sulla fauna ittica) delle specie e delle loro popolazioni ad eventi di perturbazione. Tali aspetti sono:

- la ricchezza specifica della comunità ittica e la vocazione ittica attuali del tratto fluviale in questione e la composizione della comunità ittica e la vocazione potenziali (cioè in condizioni di massima naturalità raggiungibile);
- la presenza di specie di interesse conservazionistico (con particolare riferimento alla Direttiva Habitat; alla Lista Rossa dei pesci d'acqua dolce d'Italia, Zerunian 2007, e alla lista delle specie prioritarie in Lombardia contenuta nella D.G.R. 20 aprile 2001, n. 7/4345). Si richiama la tabella delle specie ittiche native lombarde, con le specifiche di stato di conservazione attuale, riportata all'interno del capitolo dedicato alla progettazione dei passaggi per pesci;
- caratteristiche autoecologiche delle specie della comunità ittica attuale e potenziale, con particolare approfondimento delle esigenze ambientali e delle preferenze di habitat delle specie di interesse conservazionistico e/o alieutico. In particolare, sono aspetti di prioritario interesse:
 - le abitudini migratorie (tipologia, stadi vitali coinvolti, direzione e mete delle migrazioni, periodi migratori). Riguardo a questo argomento, si rimanda all'approfondimento sulle migrazioni delle specie ittiche native lombarde, inserito nel capitolo riguardante i passaggi artificiali per pesci;
 - la biologia riproduttiva (periodo riproduttivo, habitat riproduttivo, modalità di riproduzione e di deposizione delle uova, microhabitat di deposizione e incubazione delle uova, microhabitat di svezzamento delle larve). A tale proposito, la tabella riportata raccoglie tutte le specie ittiche native lombarde che si riproducono in acque correnti, indicando per ciascuna di esse il tipo di habitat riproduttivo, le caratteristiche generali dell'area tipica di deposizione e le modalità di deposizione delle uova;
 - le esigenze trofiche e di habitat per l'accrescimento degli stadi giovanili.



Esempio grafico di variabilità delle preferenze ambientali tra differenti stadi vitali all'interno della medesima specie ittica (in questo caso il temolo).

Specie ittiche native lombarde che si riproducono in acque correnti: habitat riproduttivo, caratteristiche generali dell'area tipica di deposizione e modalità di deposizione delle uova.

| Tipo di deposizione | Specie (nome comune) | Area di deposizione | Modalità di deposizione |
|---------------------|----------------------|---|--|
| fitofila | scardola | fondali ricchi di vegetazione in acque basse e ferme | uova adesive deposte sulla vegetazione sommersa |
| fitofila | tinca | fondali ricchi di vegetazione in acque basse e ferme | uova adesive deposte sulla vegetazione sommersa |
| fitofila | carpa | fondali ricchi di vegetazione in acque ferme | uova adesive deposte sulla vegetazione sommersa |
| fitofila | luccio | fondali ricchi di vegetazione in acque ferme | uova adesive deposte sulla vegetazione sommersa |
| fitofila | pesce persico | fondali ricchi di vegetazione in acque relativamente profonde | uova deposte in nastri gelatinosi ancorati alla vegetazione |
| fito-litofila | cobite comune | fondali ghiaiosi e vegetati | uova adesive deposte su pietre e vegetazione sommersa |
| fito-litofila | gobione | fondali ghiaiosi e sabbiosi ricchi di vegetazione | uova adesive aderiscono al substrato |
| fito-litofila | triotto | fondali ghiaiosi e sabbiosi ricchi di vegetazione | uova adesive aderiscono al substrato di varia natura |
| fito-psammofila | spinarello | fondali sabbiosi con vegetazione per la costruzione del nido | uova deposte in un nido costruito dal maschio con elementi vegetali uniti insieme da una sostanza mucillaginosa e ricoperto di sabbia |
| litofila | storione cobice | fondali ghiaiosi in acque basse e lente presso le rive | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | cagnetta | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse | uova adesive deposte sulla volta di sassi sporgenti |
| litofila | scazzone | fondali ghiaiosi e ciottolosi | uova adesive deposte sulla volta del sasso o dell'oggetto assunto come rifugio |
| litofila | savetta | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse | uova deposte sul substrato di fondo |
| litofila | alborella | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse | uova adesive deposte sulla ghiaia e sui ciottoli |
| litofila | sanguinerola | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | pigo | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse e correnti | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | vairone | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse e correnti | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | barbo canino | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse e correnti | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | barbo comune | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse e correnti | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | lasca | fondali ghiaiosi in acque basse e correnti | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | ghiozzo padano | fondali ghiaiosi e ciottolosi in acque basse | uova adesive deposte sul substrato |
| litofila | lampreda padana | fondali ghiaiosi e ciottolosi | uova deposte in piccole depressioni create nel fondo ghiaioso dalla lampreda e poi ricoperte di ghiaia |
| litofila | temolo | fondali ghiaiosi in acque basse | uova deposte nella depressione creata dalla femmina e poi ricoperte di ghiaia con vigorosi colpi di coda |
| litofila | trota fario | fondali ghiaiosi in acque basse | uova deposte nella depressione realizzata dalle femmine e subito coperte di ghiaia con forti colpi di coda |
| litofila | trota marmorata | fondali ghiaiosi in acque basse | uova deposte nella depressione realizzata dalle femmine e subito coperte di ghiaia con forti colpi di coda |
| litofila o altro | cavedano | fondali ghiaiosi o di altro genere | uova adesive deposte sul substrato |
| pelagica | cheppia o alosa | fondali sabbiosi e ghiaiosi | uova pelagiche che restano fluttuanti presso il fondo, una volta deposte |
| pelagica | bottatrice | fondali sabbiosi e ghiaiosi | uova pelagiche che restano fluttuanti presso il fondo, una volta deposte |
| psammofila | cobite mascherato | fondali sabbiosi o a ghiaia fine | uova adesive che aderiscono alle erbe o altri elementi grossolani presenti nel fondo sabbioso |
| psammofila | panzarolo | fondali sabbiosi | uova adesive deposte sulla volta del riparo e poi coperte con la sabbia a chiudere la depressione creata dalla femmina sotto il riparo |

- 4. Verificare possibili interferenze con habitat preferenziali e/o critici per la fauna ittica e vagliare eventuali localizzazioni alternative.** Una volta stabilito che l'intervento è necessario ed una volta approfondite le conoscenze sulla fauna ittica locale, occorre accertarsi che il tratto fluviale non sia in qualche modo "critico" per la fauna ittica nativa, in particolare per quella di interesse conservazionistico. Occorre cioè verificare se all'interno del tratto di interesse vi siano habitat e zone che rivestono un ruolo chiave per lo svolgimento del ciclo biologico o comunque per la sussistenza della specie, per esempio aree di deposizione delle uova oppure aree di accrescimento del novellame. Nel caso in cui siano individuate, esse devono venire caratterizzate e mappate e devono essere previsti tutti gli accorgimenti possibili e per non arrecare loro danno, sia durante i lavori sia in fase di esercizio delle eventuali opere in progetto. Nel caso in cui, per la natura dell'intervento previsto o per la sua localizzazione obbligata, tali aree debbano necessariamente essere modificate o ridotte, occorrerà, in primo luogo, tenere conto del calendario delle riproduzioni (riportato in queste pagine), per evitare che i lavori in alveo siano programmati proprio in concomitanza con la stagione riproduttiva di specie di interesse, che trovano in tali habitat siti idonei alla deposizione della uova (si veda la tabella contenente il dettaglio degli habitat riproduttivi e delle modalità di riproduzione delle specie native lombarde); occorrerà, inoltre, prevedere il ripristino o la predisposizione di nuove aree nello stesso tratto, con le medesime caratteristiche ambientali, idraulico-morfologiche, dimensionali e di substrato di quelle smantellate (come previsto al punto 6 del presente decalogo).



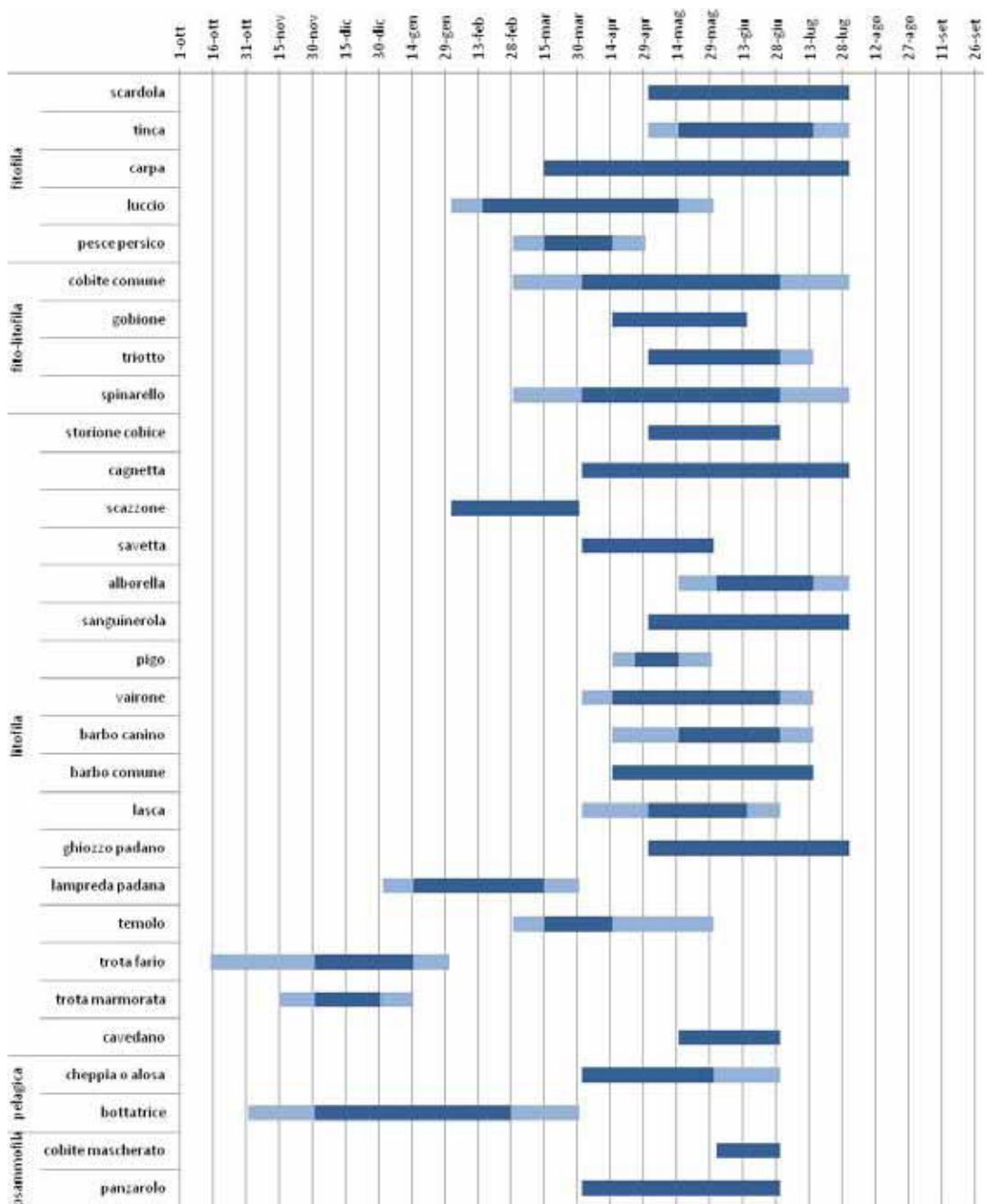
Habitat acquatici critici per la fauna ittica.

A sinistra: fondali ghiaiosi in acque basse utilizzati dalle trote per deporre le uova.

A destra: fondali coperti da macrofite sommerse, scelti dal pesce persico per la deposizione dei nastri ovarici.

- 5. Pianificare i lavori in alveo, tenendo conto del calendario biologico delle specie ittiche di interesse conservazionistico.** All'indiscutibile regola operativa generale, che impone di pianificare i lavori in alveo nei periodi in cui il fiume si trova in condizioni di magra idrologica, per ovvie ragioni di sicurezza, minore difficoltà logistica e minore impegno di risorse e mezzi, si aggiunge un ulteriore vincolo alla definizione del calendario degli interventi in alveo: quello dettato dai periodi critici per la fauna ittica. Non solo, dunque, devono essere il più possibile evitate le zone fluviali strategiche per la salvaguardia delle specie ittiche di interesse conservazionistico e/o alieutico e devono essere il più possibile minimizzati e concentrati i tempi di intervento in alveo, ma occorre anche rispettare i periodi di svolgimento delle fasi chiave del ciclo biologico di tali specie. In particolare, deve essere rispettato il calendario delle riproduzioni. Tenuto conto dei criteri sopra esposti, conoscendo la composizione della comunità ittica locale ed avendo individuato le specie meritevoli di salvaguardia, ma anche rispettando le condizioni imposte per la sicurezza del personale impiegato, sarà così possibile giungere ad un piano dei lavori in alveo il più possibile compatibile con le esigenze della fauna ittica locale, o meglio della fauna nativa che si riproduce nelle acque fluviali. Inoltre, nel caso in cui sia necessario interrompere completamente il deflusso in alcune porzioni di alveo, per quanto si preveda l'adozione di tecniche di diversione il più possibile ittiocompatibili (si veda il relativo paragrafo nel successivo capitolo dedicato alle modalità operative), occorrerà tenere conto anche del calendario delle migrazioni a scopo riproduttivo (si rimanda al calendario delle migrazioni dei pesci riportato nel capitolo relativo alla progettazione dei passaggi per pesci), al fine di escludere qualsiasi disturbo alla fauna in movimento per tali ragioni, seppure sia assicurata la percorribilità fluviale per tutto il tratto interessato dal cantiere.

Calendario delle riproduzioni delle specie ittiche native lombarde che si riproducono in acque correnti. Le specie sono classificate per categoria di habitat tipico di deposizione.



6. **Analizzare e stimare eventuali alterazioni di habitat critici e prevedere le opportune misure di salvaguardia e/o ripristino.** Occorre prevedere, identificandoli e quantificandoli, i possibili danni arrecati agli habitat naturali nelle fasi di cantiere e di esercizio delle opere in progetto, distinguendoli in base alla loro intensità e scala ed in base alla resistenza e resilienza che gli habitat stessi potrebbero rivelare nei loro confronti. In base a tali valutazioni, sarà così possibile adottare tutti gli accorgimenti, soluzioni operative e misure necessari a minimizzare gli effetti negativi sugli habitat. Quand'anche fossero individuati danni non reversibili o reversibili in tempi lunghi, e non sia possibile adottare soluzioni alternative, per ragioni di sicurezza oppure di un rapporto costi/benefici improponibile, dovranno essere rinaturalizzate e adibite alle medesime funzioni altre zone, al momento degradate, nel medesimo tratto.

- 7. Prevedere in ogni caso di lavorare all'asciutto.** L'area di lavoro in alveo deve essere sempre all'asciutto al momento dei lavori e deve essere isolata dall'alveo bagnato o comunque dall'acqua con adeguate misure di isolamento, in modo da evitare fenomeni di intorbidimento delle acque e/o di sversamento accidentale di sostanze pericolose. Per le modalità più precise riguardo all'isolamento dell'area di lavoro in alveo, si rimanda al paragrafo successivo.



Esempio di pratiche da evitare.

- 8. Preferire, per quanto possibile, un coinvolgimento parziale (o, nel caso, graduale) della sezione dell'alveo bagnato nell'area di cantiere.** Condizioni di sicurezza permettendo, deve essere sempre privilegiata e valutata prioritariamente la possibilità di prosciugare solo una porzione della sezione trasversale dell'alveo, consentendo nell'altra porzione il regolare deflusso dell'acqua.



Esempio di pratiche da evitare.

- 9. Prevedere l'adozione di modalità che non alterino la naturalità del tratto, e di tecniche costruttive ed operative il più possibile tratte dall'ingegneria naturalistica.** In primo luogo, è necessario rispettare le caratteristiche morfologiche e granulometriche dell'alveo, evitando accuratamente pratiche, che invece risultano abbastanza comuni in seguito ai cantieri in alveo, come l'appiattimento del profilo della sezione trasversale o la rimozione dei massi dall'alveo bagnato ed il loro riutilizzo per la difesa delle sponde. Come è già stato richiamato in più parti nel testo, è d'importanza strategica l'adozione di tecniche e modalità costruttive proprie della riqualificazione fluviale e dell'ingegneria naturalistica. Così facendo, sarà possibile dotare l'opera realizzata, di qualsivoglia natura essa sia (un'opera di regimazione o sistemazione idraulica oppure un'opera di pubblica utilità), di un valore aggiunto fortissimo, cioè della capacità di integrarsi perfettamente con l'ambiente, stabilendo quel rapporto mutualista di scambio di materia e di energia, che potrà rendere l'opera una componente vivente del sistema, in grado di contribuire al suo mantenimento e al suo funzionamento, per il bene della fauna ittica e della biodiversità generale.

Pratiche da evitare.



10.Cogliere il più possibile le opportunità di incremento e ripristino della naturalità. Dal momento che già ci si troverà a lavorare in alveo per realizzare l'intervento in progetto, si potrà anche cogliere l'occasione per realizzare ulteriori piccoli interventi nel medesimo tratto, volti a migliorare l'habitat acquatico e ripario a favore della fauna ittica, approfittando dell'eventuale asciutta e/o della presenza dei mezzi di lavoro; per esempio ricreando aree di rifugio sottosponda o in centro alveo con tronchi morti, ceppaie o massi raccolti dall'ambiente circostante, oppure posizionando deflettori (fatti sempre di elementi reperibili in loco) di corrente per la diversificazione dell'habitat acquatico. Piccoli interventi, che richiedono uno sforzo ed un impegno economico aggiuntivo davvero contenuti, possono rivelarsi fortemente efficaci nell'arricchire e migliorare l'habitat fluviale, favorendo, nel concreto, l'incremento della sua fauna ittica.

11. BUONE PRATICHE DI ESECUZIONE DEI LAVORI IN ALVEO

Oltre alle dieci regole generali enunciate nel capitolo precedente, occorre dettagliare una serie di ulteriori misure e accorgimenti più specifici, che devono essere adottati nelle diverse situazioni di lavoro in alveo, per garantire il minore impatto possibile sulla fauna ittica. Con il termine "buone pratiche", sono indicate tutte quelle modalità e/o tecniche operative che devono essere impiegate sul campo, al momento dei lavori in alveo, per rispettare le dieci regole generali.

Le principali buone pratiche riguardano:

1. l'isolamento idrico dell'area di cantiere in alveo;
2. l'allestimento, lo smantellamento e la gestione del cantiere;
3. gli interventi a carico della vegetazione riparia;
4. il recupero della fauna ittica nell'area di lavoro.

11.1 Modalità e tecniche di isolamento idrico dell'area di cantiere in alveo

Si è detto che occorre preferire il coinvolgimento parziale (o comunque graduale) della sezione dell'alveo naturale alla deviazione completa del flusso idrico al di fuori dell'alveo, in elementi artificiali e che occorre, in ogni caso, lavorare all'asciutto, in un'area preventivamente isolata dall'alveo bagnato. Si è, inoltre, stabilito che occorre lavorare in periodi diversi da quelli critici per le specie ittiche e che occorre evitare, per quanto possibile, habitat naturali critici.

In osservanza a queste regole generali, occorre a questo punto indicare come è possibile operare in alveo, mantenendo il più possibile attivo il corridoio fluviale.

Nel caso di opere longitudinali, l'asciutta parziale è praticabile sempre, in particolare se esistono tutte le condizioni al contorno di accessibilità e sistemazione logistica del cantiere lungo la medesima sponda oggetto di intervento. Nel caso, invece, sia possibile accedere al corso d'acqua

esclusivamente dalla parte opposta a quella di intervento, la migliore soluzione operativa consisterà nella realizzazione di un guado provvisorio (il meno largo possibile), con condotte interratae per il mantenimento della continuità idrica ed ecologica del corso d'acqua, con il quale sarà possibile accedere all'area di cantiere collocata lungo la sponda opposta, opportunamente prosciugata ed impermeabilizzata. Le condotte interratae dovranno essere opportunamente dimensionate e quantificate, in modo da consentire il flusso idrico per tutto il periodo di lavoro, senza pericoli di inondazione dell'area di cantiere. Nel caso in cui i tempi di lavoro fossero inevitabilmente lunghi e le escursioni di livello prevedibili particolarmente elevate, potrebbe essere necessario creare un sistema complementare (ma non sostitutivo) a quello delle condotte in alveo, per la deviazione del *surplus* idrico, in modo da non mettere a rischio l'area di cantiere in alveo posta in asciutta. Esistono alcuni casi eccezionali in cui non è possibile comunque lavorare in regime di asciutta parziale dell'alveo. In tali casi, occorrerà quantomeno attenersi al calendario delle riproduzioni dei pesci.

Nell'eventualità che si debba intervenire nella realizzazione o riparazione o manutenzione di opere trasversali, si sottolinea preliminarmente la necessità di verificare che l'opera in progetto o preesistente non stabilisca un'interruzione artificiale della percorribilità fluviale da parte dei pesci, nel qual caso sarà opportuno "sfruttare l'occasione" di intervento in alveo, per attuare tutte le misure di mitigazione volte a favorire il naturale spostamento dei pesci da e verso monte.

Anche nel caso di opere trasversali, è possibile, se le condizioni al contorno e la tipologia e dimensioni dell'opera in progetto lo consentono, lavorare in alveo, interessando solo una porzione della sezione dell'alveo naturale, mantenendo inondata la restante. A questo proposito, si possono presentare più eventualità:

1. in primo luogo, se si interviene su un'opera di regimazione preesistente, che impone un dislivello basso, superabile dalla fauna ittica, si può lavorare su una porzione della sezione isolata dal resto dell'alveo bagnato, utilizzando la soluzione del guado con condotta/e interrata/e, ed anche via via inondando nuovamente le parti già risistemate.
2. Se si interviene su un'opera di regimazione preesistente, che impone un dislivello elevato, non superabile dalla fauna ittica, già provvista di passaggio per pesci funzionante, basterà mantenere attivo il passaggio per pesci e l'eventuale rilascio della portata eccedente per tutta la fase di cantiere.
3. Se si interviene per riparare un'opera di regimazione preesistente, che impone un dislivello elevato, non superabile dalla fauna ittica, e questa non è ancora provvista di passaggio per pesci (o quello esistente non è funzionante), occorrerà in primo luogo, come anticipato poco sopra, realizzare (o rendere funzionale) tale passaggio a margine dello sbarramento e garantirne il funzionamento per tutta la durata della fase di cantiere in alveo; occorrerà, inoltre, anche in questo caso, assicurare il funzionamento dell'eventuale rilascio della portata eccedente per tutta la fase di cantiere.
4. Se si interviene per realizzare *ex novo* un'opera di regimazione che stabilirà un dislivello contenuto, essa, compatibilmente con le condizioni al contorno di pendenza dell'alveo e dislivello, dovrà essere realizzata nella forma di una rampa in pietrame ed il cantiere in alveo potrà essere gestito in un regime di asciutta parziale, con il ricorso alla realizzazione di guadi provvisori e condotte interratae in alveo. Nel caso in cui sia d'obbligo il ricorso a briglie o soglie tradizionali, il progetto dell'opera trasversale dovrà prevedere un passaggio per pesci a rampa in pietrame, il cui dimensionamento e la cui localizzazione dovranno essere valutate in fase progettuale. La pianificazione dei lavori in alveo dovrà, in questo caso, prevedere per prima cosa la realizzazione della rampa in pietrame, di cui dovrà poi essere garantito il funzionamento per tutta la durata del cantiere in alveo.

In ognuno dei casi elencati, l'area di stoccaggio e rimessaggio resterà comunque unica, localizzata ed organizzata (si legga il paragrafo seguente) in modo da garantire il minore impatto sull'ambiente e la migliore praticabilità per tutta la durata della fase di cantiere.

Per quanto riguarda le opere provvisorie necessarie all'allestimento dell'area di cantiere in alveo, esse sono, come citato sopra:

- **guadi** per l'attraversamento dell'alveo da parte dei mezzi impiegati nei lavori, qualora si debba raggiungere la sponda opposta a quella di accesso al corso d'acqua via terra;
- **opere di isolamento dell'area di cantiere (ture).**

I **guadi** devono essere il meno larghi possibile, tenendo conto delle esigenze di transito e manovra in sicurezza dei mezzi di cantiere. Devono essere costruiti utilizzando materiale inerte preferibilmente prelevato in loco, per esempio dall'area di cantiere allestita lungo la sponda (non dalla sede fluviale). Devono essere dimensionati assicurandone la struttura fino alla resistenza ad una portata massima giornaliera. Non devono causare problemi di erosione in alveo né durante la loro costruzione, né durante l'uso e tantomeno in seguito al loro smantellamento. Devono, inoltre, incorporare condotte adeguatamente posate sul fondo dell'alveo e dimensionate, per mantenere la continuità idraulica ed ecologica del corso d'acqua e per consentire il passaggio dei pesci; a tale proposito si rimanda al paragrafo relativo ai "passaggi in condotta" contenuto in questo stesso quaderno.

Per quanto riguarda le **opere provvisorie di isolamento** dell'area di cantiere in alveo, essenziali per prevenire eventuali sversamenti in acqua di sostanze pericolose impiegate negli interventi e l'intorbidimento dell'acqua, si possono adottare le seguenti soluzioni e accorgimenti. Per quanto riguarda l'isolamento dell'area, essa potrà essere impermeabilizzata, ricorrendo alla realizzazione di **ture** in materiale inerte (preferibilmente massi reperiti in loco o inerti di altra provenienza, ma preventivamente lavati) o al posizionamento di ture gonfiabili temporanee oggi in commercio (che offrono numerosi vantaggi di economicità, praticità d'impiego, in quanto non richiedono opere civili accessorie, impermeabilità, ecocompatibilità assoluta, riutilizzabilità, smantellamento in tempi anche estremamente rapidi all'occorrenza).

In merito poi al prosciugamento dell'area, tale operazione dovrà essere eseguita in maniera graduale, consentendo il lento deflusso dell'acqua, in modo da permettere ai pesci di abbandonare l'area spontaneamente, richiamati dalla corrente. Nel caso in cui, però, si creino delle zone di ristagno dell'acqua, come grandi pozze profonde ed isolate, occorrerà procedere al recupero della fauna ittica nella maniera meno invasiva possibile (si veda più avanti nel documento).

11.2 Allestimento, smantellamento e gestione del cantiere

Ulteriori regole operative per l'allestimento, lo smantellamento e la gestione dell'area di cantiere, rispetto a quelle enunciate finora, consentono di rendere sempre più ittocompatibile l'intervento in alveo. Per quanto riguarda l'allestimento e la gestione dell'area di cantiere, occorre osservare i seguenti criteri:

- minimizzazione dello spazio, adottando le più opportune soluzioni di ottimizzazione dell'utilizzo degli spazi;
- stoccaggio in sicurezza delle sostanze e materiali pericolosi per l'ecosistema acquatico, che andranno in ogni caso concentrati, sistemati in una zona dell'area di cantiere distante e non comunicante con alveo fluviale, conservati secondo quanto stabilito dalla normativa vigente ed anche protetti, secondo quanto previsto dalla normativa, da possibili atti vandalici;
- impiego di mezzi perfettamente funzionanti e conformi alla normativa vigente in fatto di emissioni;
- manutenzione dei mezzi di cantiere non ammessa all'interno dell'area di cantiere, ma solo in officine autorizzate;
- rabbocco e rifornimento e lavaggio dei mezzi di cantiere operate con ogni precauzione, al fine di evitare qualsiasi sversamento di sostanze inquinanti in acqua. In particolare, le aree di sosta dei mezzi devono essere dotate di tutti gli appositi sistemi di raccolta dei liquidi sversati accidentalmente;
- rimessaggio dei mezzi di cantiere in zone lontane dal cantiere in alveo, in modo tale che, se qualche mezzo dovesse rivelare delle perdite di gasolio o lubrificanti, questi non possano entrare in contatto con l'acqua del fiume e danneggiare l'ecosistema acquatico;

- allestimento di sistemi di decantazione per il trattamento delle acque di eduazione dagli eventuali scavi.

Una volta terminati i lavori in alveo, si deve garantire lo smantellamento tempestivo del cantiere ed effettuare lo sgombero e lo smaltimento dei materiali utilizzati, di quelli non utilizzati, dei rifiuti prodotti con il lavoro o di rifiuti di altra origine presenti nell'area, evitando qualsiasi abbandono di materiali, sostanze, accumuli di vario genere nel sito. Occorre, inoltre, provvedere al recupero e ripristino morfologico delle rive e della copertura vegetale, dell'alveo fluviale interessato dal cantiere, dell'area di stoccaggio e rimessaggio e di qualsiasi altra area risultata degradata a seguito dell'intervento, in modo da ripristinare quanto prima le condizioni di naturalità originaria (che potrebbe anche non corrispondere necessariamente allo stato dell'ambiente *ante operam*).

11.3 Interventi a carico della vegetazione riparia

In molti casi, per l'allestimento dell'area di cantiere, è necessario intervenire sulla vegetazione ripariale. In questo caso, occorre attenersi alle seguenti regole generali, la cui elencazione è indice anche del loro rapporto di consequenzialità logica:

1. analizzare la copertura vegetale delle rive e le fasce perifluviali comprese nell'area di progetto, in sede di progettazione. Le analisi devono essere tese ad individuare le associazioni e successioni presenti, gli elementi di criticità, gli individui vegetali di pregio;
2. evitare il più possibile che l'area di cantiere si estenda in una zona colonizzata da una vegetazione ripariale naturale autoctona;
3. nel caso sia necessario che l'area di cantiere invada le rive vegetate, preferire le zone dominate da essenze esotiche, oppure, se non presenti, a vegetazione erbacea o pioniera e mantenere intatte le zone con vegetazione *climax* o *paraclimax* (ciò vale anche per gli habitat di interesse comunitario ai sensi della Direttiva 2000/43/CEE);
4. solo per questioni di urgenza e di protezione civile, è ammissibile l'alterazione della vegetazione di *climax* o *paraclimax*, chiaramente sempre secondo i criteri di minimizzazione dell'impatto. In questo senso occorre:
 - a. ridurre quanto più possibile l'area di intervento;
 - b. evitare di danneggiare o tagliare individui vegetali di pregio;
 - c. conservare vivi quanti più possibile individui giovani eradicati, riconducibili ad essenze arboree autoctone, per il loro utilizzo successivo nella fase di ripristino dell'area, da realizzare in seguito allo smantellamento del cantiere.

11.4 Recupero della fauna ittica nell'area di lavoro

La L.R. n.31/2008, all'art.141, commi 5-8, recita:

“5. Chi intende svuotare o interrompere corsi d'acqua o bacini che non siano soggetti ad asciutte per cause naturali, compresi quelli privati in comunicazione con acque pubbliche, è obbligato, salvo quanto previsto dal comma 8, a darne comunicazione alla provincia competente per territorio almeno trenta giorni prima dell'inizio dei lavori.

6. La provincia, entro la data di inizio dei lavori, impartisce all'interessato le prescrizioni a salvaguardia del patrimonio ittico e dispone gli adempimenti da eseguire a spese dello stesso per il successivo ripopolamento ittico del corpo posto in asciutta.

7. Nei tratti dei corsi d'acqua e dei bacini posti in asciutta completa la pesca è proibita; la fauna ittica eventualmente rimasta deve essere recuperata e immessa in acque pubbliche a spese di chi effettua il prosciugamento e sotto il controllo del personale incaricato dalla provincia interessata.

8. Nei casi d'urgenza determinati da calamità naturali o da guasti alle opere che possano provocare gravi danni, il titolare della concessione costretto a interrompere i corsi d'acqua o bacini deve darne immediatamente comunicazione alla provincia competente per territorio.”

In realtà, è opportuno che, in tutti i casi in cui si debba lavorare in alveo e sia previsto il

prosciugamento, benché parziale, di una porzione dell'alveo bagnato, si provveda al recupero della fauna ittica nel tratto interessato. Le modalità operative, in questo caso, devono essere le seguenti:

1. eventuale recupero preventivo della fauna ittica presente, la cui opportunità potrà essere vagliata sulla base delle informazioni raccolte circa il pregio faunistico del tratto fluviale in oggetto e la sua criticità per le specie di interesse conservazionistico. Il recupero dei pesci deve essere compiuto tramite elettropesca; essi devono essere stabulati in vasche (eventualmente ossigenate, in dipendenza del periodo stagionale e delle specie oggetto di recupero) per il trasporto e la reimmissione in tratti omogenei a quello di intervento, nello stesso corso d'acqua o in corsi d'acqua dello stesso tipo, previa verifica dell'assenza di rischio di inquinamento genetico tra popolazioni diverse. Il recupero della fauna ittica diviene anche l'occasione di eradicazione di pesci appartenenti alle specie esotiche invasive (ai sensi del R.R. n.9 del 22 maggio 2003);
2. posizionamento della tura di isolamento dell'area da prosciugare, lasciando un'apertura per il deflusso dell'acqua rimasta;
3. prosciugamento lento, in modo da consentire alla fauna ittica di abbandonare l'area spontaneamente;
4. verifica dell'eventuale presenza di ristagni d'acqua con fauna ittica e dunque dell'opportunità di procedere ad ulteriori recuperi;
5. eventuali ulteriori recuperi, nel caso di attività prolungate e/o spostamento delle attività operative.

12. BUONE PRATICHE DI MANUTENZIONE DELLA VEGETAZIONE

Come descritto nel paragrafo dedicato agli impatti potenziali dei lavori in alveo, la vegetazione riparia svolge molteplici funzioni ecologiche ed anche idrauliche. Esse stesse sono condizionate dalle dinamiche idrauliche fluviali, ma a loro volta condizionano talmente le dinamiche biologiche, morfologiche, evolutive degli ecosistemi fluviali, che devono essere considerate parte integrante ed essenziale dei corsi d'acqua. Ciò significa che un danno apportato alla vegetazione riparia si ripercuota anche sull'intero ecosistema fluviale, e dunque anche sulla fauna ittica.

Per questo, una buona gestione di un corso d'acqua non può prescindere da un'altrettanto oculata gestione delle sue rive e conservazione dell'ecosistema ripario.

Interventi di taglio della vegetazione indiscriminati possono comportare i seguenti effetti ambientali negativi:

- alterazione di ambienti di interesse conservazionistico e di ambienti idonei all'alimentazione ed alla riproduzione della fauna e della flora;
- danneggiamento di specie di interesse conservazionistico, se l'intervento viene effettuato durante il periodo riproduttivo (sia per un disturbo diretto sia per un disturbo indiretto: es. intorbidimento delle acque);
- maggiore eutrofizzazione delle acque, in caso di caduta in alveo del materiale legnoso trinciato;
- fenomeni di dissesto delle sponde e delle rive fluviali;
- perdita dell'ombreggiamento.

Di conseguenza, soprattutto la vegetazione di tipo arbustivo/arboreo eventualmente presente nei corsi d'acqua, va, per quanto possibile, conservata, contenendone lo sviluppo solo nella misura necessaria ad evitare che costituisca un pericolo ai fini idraulici.

La cosiddetta "pulizia" della vegetazione riparia è una definizione che è l'emblema di quanto è stato fatto per troppo tempo lungo i corsi d'acqua naturali, compiendo frequenti tagli della vegetazione in alveo, sulle sponde, nelle golene. Questo per contrastare l'effetto di rallentamento della corrente realizzato dalla vegetazione in alveo ed il fenomeno di deriva dei tronchi divelti caduti in alveo, che

possono provocare un “effetto diga” a livello di strozzature lungo i corpi idrici, come le luci di ponti stretti. Simili operazioni, svolte senza tenere conto delle ben più importanti funzioni ecologiche, biologiche e soprattutto, in questo caso, anche idrauliche e idrogeologiche della vegetazione, hanno in realtà ottenuto l’effetto opposto di esporre ancor più i corsi d’acqua ed i centri antropizzati al rischio di esondazioni. Si tenga infatti conto del ruolo fondamentale della vegetazione dei versanti nella regolazione delle piene, della funzione di consolidamento delle sponde della vegetazione ripariale, della funzione di rallentamento dei tempi di corrivazione delle acque svolta dalla vegetazione fluviale, che attenuano i picchi di piena. Se è vero dunque che localmente alcune piante, in particolare individui ad alto fusto deperienti e senescenti, possono favorire esondazioni, perché possono intasare il corso d’acqua, e ciò solo in corrispondenza di strozzature (per lo più opera dell’uomo), è altrettanto vero che la loro azione cumulativa, estesa a tutto il reticolo idrografico, attenua il rischio idraulico (AdbM, 1998). Sarebbe piuttosto opportuno che, per evitare il rischio idraulico, appunto, si evitassero il più possibile le canalizzazioni, lasciando ai corsi d’acqua possibilità di divagazione e di laminazione naturale delle piene in aree inondabili, si evitasse di ampliare gli alvei non in altezza bensì in larghezza, si facesse maggiore attenzione al rischio idraulico nella pianificazione territoriale e si praticasse una più oculata gestione dei boschi di protezione e delle reti di scolo sui versanti.

Detto ciò, nonostante in linea generale debba essere riconosciuto alla vegetazione alveale e ripariale un importante contributo nell’incremento della sicurezza idraulica, per la sua azione antiersiva, per l’incremento della permeabilità del terreno, per l’allungamento dei tempi di corrivazione, e per tutti questi effetti sia importante mantenerla, è altrettanto innegabile che, in presenza di strozzature, certa vegetazione possa costituire un elemento di rischio e, in quanto tale, debba essere rimossa.

Una gestione corretta della vegetazione alveale e ripariale deve dunque soddisfare alle due esigenze, di mantenimento della vegetazione in buona salute e di rimozione degli elementi pericolosi per la stabilità del corso d’acqua. Per la manutenzione delle rive vegetate, devono essere dunque operati, in linea generale, **tagli non indiscriminati ma selettivi**. In altre parole, il taglio deve essere limitato ai casi di dimostrata necessità connessa ad effettivo rischio idraulico e deve, quindi, essere adeguatamente motivato, in quanto comporta, comunque, una rilevante interferenza con i cicli e le dinamiche delle specie e degli habitat naturali presenti.

Per quanto concerne il taglio selettivo della vegetazione arborea ed arbustiva, andrebbe eseguito in modo da:

- assicurare il mantenimento nel tempo del popolamento forestale;
- tendere a migliorare al massimo il livello della biodiversità, risparmiando le specie legnose di maggiore pregio naturalistico;
- preservare la rinnovazione della vegetazione autoctona presente, in modo da avviare la ricostituzione del bosco ripariale;
- tagliare gli individui morti in piedi, deperienti, senescenti, o in condizioni di stabilità precarie (individui in parte sradicati o fortemente inclinati), suscettibili di generare rischio idraulico, ad esclusione di quelli sede di nidi o di particolare pregio paesaggistico. Nei corsi d’acqua naturali è possibile l’asportazione del materiale morto dall’alveo, nonché il materiale accumulato nei pressi di ponti, piloni autostradali, ecc.; una quota di tale materiale andrebbe, comunque, rilasciata in alveo, ridotta ad adeguata pezzatura, laddove non interferisca con la sicurezza idraulica;
- ridurre il più possibile il taglio della vegetazione erbacea in alveo;
- a ridosso delle sponde, in fregio all’alveo inciso, per motivi idraulici la vegetazione, può essere mantenuta a portamento arbustivo per una fascia della profondità indicativa di 4 m, in quanto, flettendosi al passaggio della piena ne consente il regolare deflusso, ma nello stesso tempo protegge le sponde dall’erosione;
- qualora l’intervento preveda aree non oggetto di taglio della vegetazione ripariale, la preferenza nell’individuazione di tali aree dovrebbe ricadere su quelle inserite in un ambiente il più naturale possibile.

In ogni caso, deve prevalere il concetto di gestione attiva della vegetazione, intendendo con ciò la

definizione di turni temporali a cadenza periodica, entro i quali condurre le operazioni selvicolturali di taglio, al fine di mantenere il popolamento arboreo nella fase evolutiva più idonea a svolgere il proprio ruolo protettivo.

13. MONITORAGGIO

È auspicabile che i lavori in alveo, con durata prevista superiore a tre settimane, ed anche le pratiche selvicolturali di manutenzione della vegetazione riparia siano monitorati con un'azione di controllo da parte dell'Ufficio Pesca Provinciale.

Per quanto riguarda i lavori in alveo con durata prevista superiore a tre settimane, come già ricordato, si individua lo strumento del “**piano di rischio per la fauna ittica**”, come documento da produrre in sede di autorizzazione a procedere. In tale piano, devono essere forniti tutti gli elementi conoscitivi necessari a valutare la criticità del tratto di intervento per la fauna ittica locale, la presenza di emergenze faunistiche e l'efficacia delle misure di mitigazione dell'intervento, che si prevede di mettere in atto per rendere i lavori in alveo ittiocompatibili. Nel medesimo piano dovrebbero anche essere forniti gli indicatori di controllo dello stato dell'ambiente e dei risultati dell'intervento, quantomeno in una fase intermedia dei lavori e al loro termine, rispetto ad un “bianco” costituito dallo stato *ante-operam*.

LINEE GUIDA PER UNA GESTIONE ITTIOCOMPATIBILE DEL RETICOLO IDROGRAFICO ARTIFICIALE

L'enorme e diffusa disponibilità idrica costituisce da secoli una straordinaria opportunità per l'economia lombarda, soprattutto per l'industria e l'agricoltura. Da più di cinquecento anni la pratica irrigua è il principale fattore per lo sviluppo agricolo della pianura (Natale *et al.*, 2009; AdbPo, 1998) e, congiuntamente con la bonifica agraria, ha contribuito a definire l'attuale assetto del paesaggio lombardo, per metà occupato da superficie coltivata innervata da una rete fittissima di canali e scoli. L'assetto del reticolo idrografico artificiale lombardo realizzato, modificato e arricchito nei secoli, dal Medioevo ad oggi, è in effetti del tutto peculiare e dipende da una caratteristica propria dei grandi corsi d'acqua naturali da cui derivano le acque. Tutti i più grandi fiumi della Lombardia sono emissari di grandi laghi prealpini. La morfologia di questi fiumi (Ticino, Adda, Chiese, Oglio, Mincio) è dunque comune: prendendo origine da grandi invasi a monte, essi hanno un regime idrologico molto regolare, con piene e morbide molto prolungate e periodi di magra mai privi di acqua. Essi d'altronde possono fare conto su ampi bacini sottesi, con estese aree glaciali che garantiscono acqua anche nella stagione più povera di piogge. I laghi funzionano anche da enormi bacini di sedimentazione per le acque degli immissari e le acque chiare che ne escono possiedono un elevato potere erosivo, responsabile della morfologia attuale degli emissari. Essi, nel tempo, hanno fissato il loro alveo nella valle alluvionale, approfondendola in valli a cassetta e la loro pendenza è piuttosto ripida, essendo regolata dalle soglie rocciose che emergono alla superficie del deposito alluvionale al piede del rilievo alpino, e si addolcisce solo nel tratto finale, prima della confluenza in Po (Natale *et al.*, 2009). Le acque derivate dai fiumi vengono riportate al piano della campagna circostante con lunghi canali a mezza costa, che superano la scarpata della valle a cassetta, recuperando gradualmente il gradiente idraulico. Questa disposizione è stata messa a punto con le prime opere di sistemazione idraulica intraprese nel tardo Medioevo e continuate fino agli ultimi decenni del XX secolo. La captazione avveniva il più a monte possibile, in modo da consentire la distribuzione dell'acqua al più vasto territorio. La direzione del deposito alluvionale padano, trasversale rispetto all'asse della valle del Po, rende agevole il trasferimento dell'acqua anche lontano dal punto di prelievo, addentrandosi nella pianura (Giura *et al.*, 1993). L'area milanese, trovandosi tra il Ticino e l'Adda, divenne il punto di convergenza delle derivazioni idriche, che trasformarono un territorio percorso da torrenti prealpini con regime idrologico molto irregolare e quindi poco idoneo all'utilizzo per l'irrigazione, in un'area particolarmente produttiva.



In seguito, anche le aree poste al confine regionale, la Lomellina ad ovest e la Media ed Alta Pianura Mantovana a est, sono state raggiunte dalle acque dei laghi lombardi.

Canali irrigui lombardi.

A sinistra Canale Muzza (MI).

A destra: Naviglio Pallavicino (BG).



Fin da subito, il reticolo idrografico artificiale fu sviluppato tenendo presente l'uso plurimo delle acque, non solo ai fini agricoli, ma anche per la navigazione interna e per la produzione di energia, utile soprattutto all'industria. Nei tempi antichi, il trasporto attraverso le vie d'acqua assunse un'importanza economica e sociale strategica e, per secoli, caratterizzò la società, la cultura ed il paesaggio lombardi. Fin dai tempi antichi, i canali erano sfruttati per la produzione di energia, realizzata sfruttando i salti d'acqua tra i diversi orizzonti della pianura alluvionale o i salti dati dalle scarpate delle valli fluviali. In questo secondo caso, gli impianti per la produzione di energia erano alimentati da canale adduttore e da essi ripartiva un canale di restituzione, che riportava l'acqua al fiume, secondo un modello di impianto idroelettrico che costituisce tutt'oggi la tipologia dominante. Nei primi periodi dell'industrializzazione, quando il trasporto a distanza dell'energia era ancora un fattore limitante, la disponibilità di impianti idroelettrici, lungo i canali industriali di derivazione dal Ticino e dall'Adda, permise il fiorire di industrie moderne.

Più di recente, a fini prevalentemente irrigui, furono anche intrapresi, nella prima metà del secolo scorso, i lavori di sistemazione delle bocche dei grandi laghi prealpini lombardi (Verbano, Lario, Sebino, Eridio, Benaco), che dunque furono ridotti a grandi serbatoi dei deflussi naturali, a servizio dell'agricoltura nella pianura lombarda. Il primo ad essere sbarrato fu il Lago d'Idro (Eridio), nel 1923; poi toccò al Lago d'Iseo (Sebino), dove, nel 1931-33, fu realizzato lo sbarramento a Sarnico; poi fu la volta del Lago Maggiore (Verbano), dove nel 1938-44 fu realizzata la diga della Miorina; del Lago di Como (Lario), con la diga di Olginate, costruita tra il 1941 ed il 1944; ed infine il Lago di Garda, la cui diga sul Mincio a Salionze divenne operativa solo nel 1950. Con la regolazione dei grandi laghi, si ottenne il migliore sfruttamento della risorsa idrica ai fini irrigui, tanto che essa sostiene tuttora l'attuale servizio irriguo (Natale *et al.*, 2009).

Dighe di regolazione dei livelli dei grandi bacini lacustri lombardi.

A sinistra: diga della Miorina sul Fiume Ticino sublacuale.

A destra: diga di Olginate sul Fiume Adda sublacuale.



Per di più, oggi più di ieri, la fitta rete di canali agricoli costituisce uno degli elementi fondanti del territorio lombardo, esercitando numerose e diversificate funzioni, che però al contempo la rendono un sistema fragile, che deve rispondere a richieste di servizi talvolta anche molto contrastanti tra loro (Cadario & Bischetti, 2006; Di Fidio & Bischetti, 2008).

Le principali funzioni che la rete dei canali rurali lombardi si trova oggi ad assolvere sono:

- **funzione irrigua.** Il reticolo idrografico artificiale mantiene la funzione idraulica, per cui

è stato costruito, di distribuzione dell'acqua ai campi e restituzione alla rete naturale ed è tuttora l'elemento cardine dell'economia rurale nella Pianura Padana Lombarda;

- **funzione paesaggistica.** La trama irrigua è elemento fondante del paesaggio agrario della bassa pianura padana. Essa si estende con grande uniformità in quasi tutta la bassa pianura lombarda. “... *Il sistema irriguo, derivato dai fiumi e dai fontanili, è alla base della vocazione agricola, della sua organizzazione e, dunque, del paesaggio ... i paesaggi della bassa pianura irrigua vanno tutelati rispettandone la straordinaria tessitura storica e la condizione agricola altamente produttiva. Questa condizione presuppone una libertà di adattamento culturale ai cicli evolutivi propri dell'economia agricola. Ciò va tenuto presente, ma nel contempo va assicurato il rispetto per l'originalità del paesaggio nel quale si identifica tanta parte dell'immagine regionale, della tradizionale prosperità padana...*” (Piano del Paesaggio Lombardo);
- **funzione storica.** Elemento fondante della bassa pianura agricola lombarda, il reticolo idrografico artificiale contribuisce a rappresentare “... *quella grande, secolare conquista agricola che ha fatto della Lombardia una delle terre più ricche e fertili del continente*“. In esso risiede la memoria storica di un percorso tecnologico, produttivo, culturale compiuto nei secoli dall'uomo, fin dai tempi dell'Età Romana;
- **funzione ecologica.** Innegabile è anche la funzione ecologica dei corsi d'acqua del reticolo artificiale irriguo. Essi, avendo fondi non impermeabilizzati ed essendo spesso provvisti di sponde vegetate, sono in realtà essi stessi degli ecosistemi, certamente un po' particolari, in quanto “gestiti dall'uomo”, ma comunque in grado di ospitare biocenosi acquatiche, vegetali e animali, tra cui i pesci, anche di un certo pregio faunistico. Per via del suo collegamento con i grandi fiumi sub-lacuali della nostra regione, in effetti all'interno della rete artificiale si immettono e sono destinati a rimanere a lungo, se non addirittura per tutta la loro esistenza, numerosi pesci delle più diverse specie ittiche. Inoltre, il sistema dei corsi d'acqua artificiali rappresenta un'ottima base d'appoggio per la creazione dei corridoi ecologici, non solo grazie alla presenza d'acqua, che è condizione fondamentale per il mantenimento della vita, ma anche per la presenza dei cordoni di vegetazione spondale, utilizzati sia dall'avifauna sia dai mammiferi come vie di spostamento;
- **funzione ricreativa.** Così come i corsi d'acqua naturali, anche i canali agricoli rivestono un interesse per attività ricreative come: la pesca, la balneazione (molto limitata) e, soprattutto ultimamente, le escursioni a piedi, in bicicletta, oppure a cavallo e la canoa;
- **navigabilità.** Dopo numerosi decenni di abbandono, oggi è rinato l'interesse anche per la navigazione lungo i grandi canali artificiali, tanto che è stata attivata un'iniziativa che volge a ripristinare la navigazione turistica lungo i navigli milanesi, che prendono origine dal Ticino;
- **industriale.** Diversi canali irrigui forniscono acqua a processi industriali, con particolare riferimento al raffreddamento degli impianti o all'allevamento ittico intensivo;
- **uso idroelettrico.** L'apertura di un mercato dell'energia verde ha reso economicamente interessante l'installazione di piccole centrali idroelettriche, che sfruttano i salti presenti lungo la rete, originariamente realizzati per sostenere il livello idrico ad una quota sufficiente a garantire l'erogazione dell'acqua per gravità;
- **ricezione di acque di scarico.** La capillare diffusione dei canali irrigui sul territorio li rende particolarmente idonei come ricettori delle acque meteoriche, provenienti da insediamenti civili e produttivi e degli scarichi dei depuratori.

Per ciascuna di queste funzioni, il reticolo idrografico artificiale dovrebbe poter rispondere a differenti esigenze, individuabili in sintesi come segue:

- **per assolvere al meglio alla funzione irrigua**, esso dovrebbe comporsi di canali il più possibile a sezione regolare e profilo longitudinale rettificato, con scabrezza modesta e impermeabilizzazione del fondo, e con costi di manutenzione minimi;
- **per la funzione paesaggistica**, dovrebbe il più possibile conservare il proprio aspetto e la funzionalità legati alle pratiche agricole tradizionalmente praticate, conservando o ripristinando i filari spondali alberati di essenze autoctone che erano e sono (laddove sono

stati conservati) caratteristici del paesaggio rurale lombardo;

- **per la funzione ecologica**, il reticolo idrografico artificiale deve puntare alla propria naturalizzazione, attraverso il mantenimento per tutto l'anno di portate idriche minime, vitali per le biocenosi acquatiche, lo sfalcio selettivo e guidato delle macrofite acquatiche, il ripristino di una fascia perifluviale vegetata stabile, la diversificazione dell'habitat acquatico, per favorire lo stabilirsi di biocenosi acquatiche in grado di autosostenersi, la minimizzazione degli interventi umani su di esso;
- **per la funzione ricreativa**, esso deve rispondere alle diverse esigenze, a seconda del tipo di fruizione previsto. Per la pesca, è evidente l'analogia con le esigenze della funzione ecologica. Per la canoa, esso deve essere reso accessibile ai canoisti e praticabile attraverso modificazioni strutturali ed una manutenzione della vegetazione. Per le escursioni, esso deve essere reso percorribile lungo le sponde, ma anche attraente paesaggisticamente;
- **per la funzione storica**, esso deve mantenere le proprie peculiarità, la geometria, i manufatti, gli edifici, che hanno segnato la storia della bassa pianura rurale lombarda;
- **per la navigabilità**, deve essere reso accessibile e percorribile dalle imbarcazioni turistiche;
- **per l'utilizzo industriale e idroelettrico**, devono essere assicurate portate idriche regolari e sufficienti a garantire una produttività costante.

Negli ultimi decenni, la progressiva contrazione del valore socio-economico dell'attività agricola e la crescente conflittualità tra i diversi usi delle risorse idriche hanno portato i gestori della rete a privilegiare soluzioni costruttive e manutentive meno onerose e più efficienti dal punto di vista idraulico, le quali vanno però a discapito delle funzioni ecologiche e paesaggistiche (Romita *et al.*, 1972).

Proprio per perseguire obiettivi di economia ed efficienza, che sono richiesti da una normativa a tratti contrastante (risparmio idrico e contemporaneo mantenimento della naturalità), la tendenza è stata quella di rettificare ulteriormente, arginare, regolarizzare le sezioni, rivestire con strutture impermeabili, eliminare vegetazione spondale ecc, impoverendo il reticolo idrografico artificiale del proprio valore ecosistemico e paesaggistico.

Una moderna e coerente politica di gestione della rete irrigua deve porsi come obiettivo strategico l'equilibrio complessivo tra tutte le esigenze ed, in particolare, quelle produttive e quelle ambientali e paesaggistiche, piuttosto che il miglioramento della componente ambientale in sé, come avviene nella riqualificazione fluviale.

Mentre i principi della riqualificazione dei corpi idrici naturali sono sostanzialmente universali e la letteratura internazionale fornisce ormai molti elementi utili alla loro pratica applicazione, nel caso della riqualificazione della rete artificiale vi è una sostanziale carenza di riferimenti. Per questo, nel 2008 è stato pubblicato il Manuale "La riqualificazione dei canali agricoli – Linee Guida per la Lombardia", con l'intento di rispondere all'esigenza di sviluppare criteri di riqualificazione specifici dei canali, tenendo conto della peculiarità della situazione lombarda in particolare. Tale manuale mirava a fornire elementi conoscitivi e spunti per i progetti di riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua rurali, in un'ottica di sostegno delle diverse funzioni dei canali agricoli, non perdendo però di vista le funzioni preminenti della rete. Esso approfondiva gli aspetti specifici dei canali da riqualificare: azioni finalizzate a migliorare la funzionalità idraulica e la stabilità dell'alveo, a potenziare la funzione ecologica, a promuovere l'integrazione territoriale e la fruizione ed a recuperare il patrimonio storico (Bischetti *et al.*, 2008).

Rispetto a tale manuale, il presente capitolo ha come obiettivo l'esclusivo approfondimento delle tecniche e delle modalità di gestione e di manutenzione dei canali irrigui ai fini della salvaguardia della fauna ittica, e dunque la **gestione ittocompatibile del reticolo idrografico artificiale**.

14. L'ATTUALE GESTIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO ARTIFICIALE

Secondo il più recente aggiornamento dei dati inerenti la gestione del sistema irriguo lombardo (U.R.B.I.M. Lombardia, 2009), il sistema irriguo delle aree agricole della bassa pianura lombarda è suddiviso (ai sensi della LR n.31 del 2008) in 21 comprensori di bonifica. La situazione degli organismi deputati alla gestione dell'irrigazione appare alquanto articolata, per la varietà sia delle forme giuridiche, sia dell'entità delle portate in concessione. La mappa sottostante individua i comprensori e gli Enti gestori.

Comprensori di bonifica della pianura lombarda (Fonte: URBIM, urbimlombardia.it).



- | | |
|--|--|
| 01 - Area Lomellina: Associazione Irrigazione Est Sesia | 13 - Medio Chiese |
| 01b - Area Lomellina: Consorzio di Bonifica Valle del Ticino | 14 - Fra Mella e Chiese |
| 04 - Est Ticino Villorosi | 15 - Alta e Media Pianura Mantovana |
| 05 - Oltrepò Pavese (Consorzio non operativo. Commissariato) | 16 - Navarolo - Agro Cremonese - Mantovano |
| 06 - Media Pianura Bergamasca | 17 - Colli Morenici del Garda |
| 07 - Adda - Serio | 18 - Sud Ovest Mantova |
| 08 - Muzza - Bassa Lodigiana | 19 - Fossa di Pozzolo |
| 09 - Sinistra Oglio | 20-21 - Terre dei Gonzaga in Destra Po (ex Agro Mantovano) |
| 10 - Mella e Fontanili | Reggiano e Revere) |
| 11 - Naviglio Vacchelli | 22 - Burana - Leo - Scoltenna - Panaro |
| 12 - Dugali | |

La nuova legge dovrebbe favorire la riorganizzazione del servizio irriguo regionale, oggi notevolmente frammentato tra numerosissimi enti diversi. Sono prevalenti i Consorzi di Bonifica, ma sono presenti anche numerosi enti diversi (consorzi irrigui, associazioni irrigue, consorzi di miglioramento fondiario).

La superficie dominata dagli enti maggiori è largamente prevalente, anche se nella parte occidentale del territorio regionale (province di Bergamo, Brescia e Cremona) permane una notevole

frammentazione.

L'erogazione dell'acqua è turnata in tutto il territorio. Il metodo irriguo più utilizzato è lo scorrimento superficiale. Nei comprensori dei Laghi di Garda e d'Idro coesistono l'irrigazione per aspersione e quella per scorrimento. Rispetto alla modalità di adduzione e distribuzione dell'acqua, prevalgono nettamente le reti a pelo libero. Un'aliquota significativa delle consegne avviene, invece, con rete tubata in pressione nei comprensori alimentati con acque del Lago di Garda e del Lago di Idro.

I canali sono per lo più privi di rivestimento; di conseguenza sono molto elevate le perdite di adduzione e distribuzione.

I prelievi vengono per la maggior parte effettuati da corsi d'acqua superficiali; seguono, come fonti di approvvigionamento, i fontanili ed i pozzi. I prelievi da falda sono concentrati quasi esclusivamente in alcune aree lombarde. Va segnalato come i prelievi da pozzi sfuggano spesso ad ogni tipo di controllo o programmazione, per cui la loro effettiva entità è incerta.

In molte delle aree, servite da reti a pelo libero ed in cui si pratica l'irrigazione per scorrimento o sommersione, è intenso anche il riciclo delle acque di colatura per l'approvvigionamento irriguo di territori idraulicamente soggiacenti, con aliquote di riutilizzo che, nei comprensori della Lombardia occidentale (ad orientamento risicolo), costituiscono una frazione significativa delle portate complessivamente erogate. La capillare attività di distribuzione della risorsa idrica, svolta dall'irrigazione, contribuisce in modo predominante ad attivare questi scambi: gli ingenti volumi che percolano verso la falda dai canali irrigui e dalle superfici irrigate rappresentano, infatti, la principale fonte di rialimentazione degli acquiferi, sostenendo in particolare i livelli di prima falda.

In materia di sviluppo rurale e valorizzazione del territorio rurale e del paesaggio agrario, il regolamento n. 1257/99 dell'Unione Europea, in particolare l'art. 33, è finalizzato a dare impulso ad una nuova politica di sviluppo rurale a carattere multifunzionale, destinata a finanziare attività anche diverse da quelle della semplice produzione agricola, purché legate al "rurale". I piani di sviluppo rurale, che del regolamento 1257 costituiscono lo strumento attuativo a livello regionale, hanno generalmente recepito questa impostazione anche in materia di gestione delle risorse idriche in agricoltura, con l'obiettivo di migliorarne l'efficacia, promuovendo il risparmio idrico, l'utilizzo plurimo delle acque e la salvaguardia e valorizzazione del territorio rurale e del paesaggio agrario.

Da questo contesto, emerge con chiarezza il ruolo strategico che i sistemi di irrigazione e di bonifica possono assumere nella gestione e pianificazione territoriale, per le fondamentali implicazioni dirette ed indirette che le funzioni da essi svolte hanno sull'assetto del territorio, ma anche la necessità di una evoluzione dell'importanza relativa delle funzioni stesse.

Delle funzioni tradizionali, irrigazione e difesa idraulica, la prima, che fino ad ora ha largamente determinato lo sviluppo delle reti e coperto la maggior parte dei costi di esercizio e di manutenzione ordinaria, risulta ridimensionata. Rimane centrale, invece, la funzione di difesa idraulica del territorio, sotto la pressione dello sviluppo degli insediamenti abitativi, industriali, commerciali e zootecnici, che ha contemporaneamente accentuato l'intensità degli eventi idrologici estremi (per l'aumento delle superfici impermeabili) e reso il territorio urbanizzato più sensibile ai danni rispetto al tradizionale agricolo.

Fortemente stimolato è lo sviluppo di tutte le altre funzioni extra-agricole, principalmente legate agli aspetti di conservazione e riqualificazione del territorio dal punto di vista ambientale e paesaggistico (ad esempio, attraverso il riequipaggiamento vegetazionale dei canali, con creazione di veri e propri corridoi ecologici, la valorizzazione degli edifici rurali, dei manufatti idraulici e dei mulini, eccetera), anche se non va dimenticato, come già accennato in premessa al capitolo, il ritorno dello sfruttamento delle reti idrauliche per l'approvvigionamento idrico di utenze industriali e per la produzione di energia elettrica, tramite piccole centrali, tanto più appetibile, quanto più costose divengono, sul piano economico ed ambientale, le risorse energetiche da idrocarburi.

Per quanto riguarda la valorizzazione ambientale, recenti risultati della ricerca scientifica hanno evidenziato il ruolo fondamentale che può essere svolto dall'idrografia artificiale. Il continuo regresso delle specie naturali floro-faunistiche in tutta Europa ha infatti dimostrato l'insufficienza dello strumento delle aree protette, privilegiato nelle politiche di difesa della natura degli ultimi decenni. In alcuni Paesi (in Francia per esempio, con i cosiddetti "Contratti di canale") è stata

già avviata una politica più avanzata, mirante a realizzare reti ecologiche, costituite da biotopi paranaturali di varie dimensioni e caratteristiche, collegati tra loro mediante strutture reticolanti a maglia stretta, costituite da filari, siepi e macchie di campo, che rendono possibile uno scambio delle specie presenti.

15. LE ESIGENZE DI GESTIONE DELLA RETE ARTIFICIALE A CONFRONTO CON LE ESIGENZE DEGLI ECOSISTEMI NATURALI

Come già è stato possibile approfondire nel capitolo precedente a proposito dei processi naturali di evoluzione degli ecosistemi fluviali, essi devono essere pensati come sistemi aperti che scambiano energia e materia con l'ambiente esterno, o meglio, con gli ambienti laterali, con la piana alluvionale e con l'ambiente iporreico, stabilendo dunque flussi multidimensionali non solo monte-valle, ma anche trasversali e verticali. In particolare, produttività e capacità autodepurative dell'ecosistema fluviale dipendono sostanzialmente da:

- gli scambi di energia e materia con l'ambiente esterno, che devono essere il più efficaci possibile;
- la qualità dell'acqua, che deve essere la migliore possibile;
- la struttura fisica dell'alveo, che deve essere il più possibile diversificata, in grado di ricostruire la più grande varietà di meso- e micro-habitat;
- il regime idrologico, che deve essere il più possibile naturale, poichè con esso si sono coevolute le biocenosi acquatiche presenti nell'ecosistema, secondo un processo di adattamento che ha permesso loro di evolversi e conservarsi fino ad uno stato di equilibrio dinamico di *climax*.

Già a questo primo livello di approfondimento delle caratteristiche di un ecosistema fluviale naturale, si possono cogliere gli elementi di forte contrasto con il reticolo idrografico artificiale:

- In primo luogo, contro l'esigenza di un adeguato e continuo scambio di energia e materia con l'ambiente esterno, i canali artificiali gestiti, per la loro stessa natura e per la finalità per cui sono stati realizzati, si estendono all'interno di territori fortemente antropizzati, in cui non c'è indubbiamente spazio (perchè anti-economico per gli agricoltori) per fasce vegetate perifluviali ampie e strutturate, con una reale ed efficace funzione autodepurativa. Spesso la copertura vegetale delle sponde è talmente rada e semplificata, che anche le funzioni di ombreggiamento e apporto trofico possono considerarsi praticamente annullate (Haycock *et al.*, 1997). Inoltre, l'impermeabilizzazione del fondo (che per fortuna nel caso della rete dei canali lombardi può dirsi un fenomeno estremamente raro), operata al fine di evitare eccessive perdite di risorsa idrica destinata all'irrigazione, certo si contrappone nettamente alle esigenze di scambio verticale con l'ambiente iporreico, tipiche di un ecosistema fluviale.
- La stessa assenza di fasce vegetate perifluviali estese e funzionali si contrappone anche alle esigenze di qualità dell'acqua dell'ecosistema, in quanto determina di fatto l'assenza di un efficace filtro, in grado di tamponare gli apporti inquinanti derivati al corso d'acqua per percolamento dalla piana. Contro un'ottimale qualità dell'acqua concorre anche un'altra pratica diffusa nel reticolo artificiale, cioè quella della rimozione della vegetazione acquatica, realizzata anche più volte l'anno, attraverso le modalità del diserbo (rimozione meccanica della vegetazione acquatica radicata) o dello spurgo (rimozione dei sedimenti e della vegetazione acquatica), al fine di favorire il migliore deflusso idrico attraverso la sezione canale; si ricorda infatti la funzione fito-depurante del canneto in un ecosistema acquatico. A sfavore della qualità dell'acqua gioca anche il fatto che spesso i corsi d'acqua del reticolo artificiale, come già precedentemente accennato, sono i recettori finali di scolmatori di piena, di scarichi di depuratori, delle reti di acque bianche urbane, nonché di scarichi domestici e zootecnici.
- Contro l'esigenza di un ecosistema naturale di avere un habitat il più possibile diversificato, nella realizzazione e manutenzione dei canali della rete artificiale sono invece privilegiati:

la rettificazione del profilo longitudinale del corso d'acqua, dal momento che accorcia il percorso delle acque e dunque aumenta la velocità di recapito dell'acqua stessa; la riduzione della scabrezza del fondo dell'alveo, anche oggetto di manutenzione frequente con diserbi o spurghi periodici; la stabilizzazione delle sponde con rivestimenti e protezioni del tipo di gabbioni, pannelli di cls, massicciate (realizzate con blocchi di cls o massi di cava, annegati nel cls); l'allargamento e l'approfondimento della sezione dell'alveo, mantenendo comunque profili trapezoidali o rettangolari, per favorire il deflusso delle portate di piena; il controllo del trasporto solido con briglie e soglie.

- A differenza di quanto avviene naturalmente, per cui il regime idrologico di un corso d'acqua naturale muta stagionalmente, a seconda della tipologia di regime naturale del corso d'acqua stesso, della piovosità e dell'andamento climatico, per i corsi d'acqua della rete artificiale l'andamento delle portate è determinato da scelte umane di tipo gestionale. Queste sono legate alla necessità di irrigare i campi in periodi stabiliti, durante i quali i canali sono mantenuti ai massimi livelli di riempimento, e di compiere frequentemente lavori di manutenzione, durante i quali, invece, i canali sono generalmente sottoposti a periodi di asciutta completa.

La tabella seguente riassume le differenze fondamentali tra le esigenze ecologiche di un corso d'acqua naturale e quelle gestionali di un canale della rete artificiale.

| Corso d'acqua naturale | Corso d'acqua della rete artificiale |
|---|--|
| Regime idrologico naturale dipendente dalle caratteristiche geografiche, climatiche, morfologiche e pedologiche del bacino idrografico e del corso d'acqua stesso. | Regime idrologico alterato, con periodi di piena primaverile-estiva (indicativamente tra aprile e settembre), periodi di magra invernale (durante i quali viene mantenuta una portata sufficiente a soddisfare le utenze invernali) e periodi di asciutta, tradizionalmente gestiti con asciutte complete perduranti per oltre un mese e che generalmente si ripetono in primavera, prima della stagione delle irrigazioni, e dopo l'estate, terminato il periodo vegetativo nelle colture |
| Struttura il più possibile diversificata dell'habitat, che, alle diverse scale, si traduce in: - morfologia dell'alveo il più possibile irregolare, evoluta secondo processi naturali di trasporto solido e deposito; - diversificazione del meso-habitat nelle più varie tipologie idraulico-morfologiche esprimibili, in dipendenza del tratto fluviale e della morfologia naturale del territorio attraversato; - diversificazione del micro-habitat; - sezione dell'alveo naturale, disegnata dai naturali processi di escavazione ed erosione; - sponde coperte da una vegetazione spontanea; - presenza di vegetazione acquatica; | Struttura il più possibile banalizzata, a favore della migliore efficienza di recapito dell'acqua, ottenuta attraverso: - rettificazione dell'alveo; - introduzione di salti; - disegno di una sezione trasversale a fondo piatto, con pareti il più possibile verticali; - minimizzazione della scabrezza dell'alveo; - eliminazione di qualsiasi elemento dissipatore di corrente attraverso diserbi e spurghi |
| Mantenimento della capacità autodepurativa del corso d'acqua attraverso: - l'azione filtro della fascia perfluviale vegetata; - l'azione filtro della vegetazione acquatica; - i naturali processi di decomposizione delle sostanze organiche; - gli scambi con l'ambiente esterno; | Incremento della velocità di deflusso dell'acqua e migliore accessibilità al corso d'acqua per operazioni di manutenzione, attraverso: - eliminazione di una fascia perfluviale arborea; - eradicazione della vegetazione acquatica; - spurgo, con rimozione del sedimento e della vegetazione acquatica; - impermeabilizzazione del fondo. |



Canali irrigui della bassa pianura lombarda. Ambienti morfologicamente artificiali (a sinistra) a confronto con ambienti naturaliformi (a destra).

16. LA FAUNA ITTICA NEI CANALI DELLA RETE ARTIFICIALE E LE SUE ESIGENZE

In linea generale, come anche emerso da uno studio specifico di caratterizzazione della fauna ittica dei Navigli della rete artificiale gestita dal Consorzio di Bonifica Est Ticino - Villorese (GRAIA srl, 2006), i canali del reticolo idrografico artificiale possiedono notevoli potenzialità come ambienti di interesse ittico; ciò principalmente in ragione della loro connessione con grandi corsi d'acqua naturali, come i Fiumi Ticino, Adda, Oglio, Mincio e Chiese. Di fatto, in genere, nella rete primaria si riconosce la presenza di buona parte delle specie ittiche presenti nei fiumi da cui essi si originano, siano esse specie reofile, limnofile, stenoece, euriecie, ampiamente vagili o piuttosto sedentarie. Nella rete secondaria, dove la tipologia idraulico-morfologica a cui può essere assimilato un canale, è più simile a quella del *potamon*, si afferma invece la presenza prevalente, se non esclusiva, di specie limnofile ed euriterme o stenoterme calde, che possono stabilirsi anche con popolazioni demograficamente piuttosto strutturate e stabili. Non è raro comunque rinvenire in questi ambienti anche il novellame di specie più tipicamente reofile.

Sia le potenzialità ittiche della rete primaria sia quelle della rete secondaria sono però in gran parte represses da una serie di fattori limitanti, che possono dirsi comuni un po' a tutte le situazioni locali:

- la generale monotonia dell'habitat fluviale dovuta alla regolarità della morfologia dell'alveo, alla relativa costanza della larghezza, della profondità, della velocità di corrente e della natura dei sedimenti e alla manutenzione frequente e radicale;
- la sistematicità con cui i canali vengono sottoposti ad asciutte totali.

Questi fattori non consentono di fatto la costituzione di ecosistemi acquatici stabili, con comunità ittiche strutturate e popolazioni ittiche in grado di automantenersi.

Alla luce delle evidenze emerse, tale obiettivo risulta raggiungibile, qualora siano adottate le seguenti strategie di salvaguardia della fauna ittica:

1. abbandono della pratica delle asciutte totali a favore di asciutte parziali, che garantiscano il mantenimento di un tirante minimo da stabilirsi;
2. realizzazione di interventi di ingegneria naturalistica volti a creare, all'interno dei navigli, zone adatte allo stazionamento, all'approvvigionamento e alla riproduzione delle diverse specie ittiche, in modo da consentire l'impianto di popolazioni in grado di autosostenersi.

17. OBIETTIVI DI UNA GESTIONE ITTIOCOMPATIBILE

Da tutto quanto detto emerge il ruolo ecologico importante rivestito dalla rete idrografica artificiale, soprattutto nei riguardi della fauna ittica dei grandi fiumi derivati: si consideri, infatti, che nei periodi di più intenso prelievo delle acque, i corsi d'acqua naturali si trovano in condizioni di magra (anche spinta), mentre i canali artificiali sono ricchi d'acqua; la loro riqualificazione ecologica potrebbe dunque costituire un'ottima opportunità per garantire la salvaguardia e la conservazione del patrimonio ittiofaunistico locale.

L'obiettivo di una gestione ittiocompatibile del reticolo idrografico artificiale deve essere sostanzialmente la salvaguardia dei pesci, nel rispetto delle funzioni preminenti del reticolo e di un utilizzo eco-sostenibile della risorsa idrica. L'obiettivo generale è dunque quello di creare le condizioni ambientali affinché nella rete idrica artificiale si instauri una comunità ittica stabile e diversificata, composta di popolazioni in grado di autosostenersi.

Rispetto a quanto detto sopra, appare dunque evidente che gli obiettivi specifici di compatibilizzazione devono essere:

- la dismissione della pratica delle asciutte complete, a favore della più ittiocompatibile pratica dell'asciutta parziale, che comunque può consentire lo svolgimento dei necessari lavori di manutenzione sulla rete, attraverso l'adozione di particolari tecniche e modalità di lavoro in alveo, come sarà specificato in seguito;
- il miglioramento dell'habitat fisico, ottenibile attraverso interventi di riqualificazione

ambientale, che non riducano la capacità idraulica dei canali e non compromettano il delicato sistema idraulico a servizio di tutte le utenze presenti lungo le aste fluviali della rete. Tali interventi dovranno dunque tenere conto dei seguenti aspetti:

- la soggiacenza della falda freatica ed il bilancio idrico tra i canali e quest'ultima nei diversi punti della rete;
- le sezioni e la pendenza dei canali;
- le caratteristiche del fondo e delle sponde (naturali o rivestite);
- gli apporti idrici esistenti e la possibilità di portare una quantità sufficiente di acqua ai canali;
- la morfologia e l'uso del suolo nelle aree laterali;
- la realizzazione degli interventi di manutenzione della vegetazione acquatica, con tecniche diverse da quelle tradizionalmente utilizzate di diserbo e spurgo.

Di qui scaturiscono le tre principali linee di intervento proposte in questo contesto:

1. Gestione ittiocompatibile delle asciutte;
2. Interventi di riqualificazione fluviale;
3. Manutenzione ittiocompatibile della vegetazione.

18. MODALITÀ DI GESTIONE ITTIOCOMPATIBILE

Le modalità di gestione ittiocompatibile del reticolo idrografico artificiale lombardo, esposte di seguito, prendono spunto in parte dal lavoro svolto dalla GRAIA srl nel 2005-2006 per la Provincia di Milano dal titolo "Il sistema dei canali gestiti dal Consorzio di Bonifica Est Ticino – Villoreasi: studio per la mitigazione degli impatti sull'ittiofauna". In parte, invece, per quel che concerne la riqualificazione fluviale e la manutenzione della vegetazione, il testo si rifà alle "Linee Guida per la Riqualificazione dei Canali Irrigui" pubblicate dalla Regione Lombardia - DG Agricoltura nel settembre 2008, cui si rimanda dunque per approfondimenti.

18.1 Gestione ittiocompatibile delle asciutte

Occorre stabilire criteri alternativi, a quelli fino ad oggi utilizzati, per la gestione delle asciutte dei canali. La prima modifica da apportare all'attuale sistema di gestione, generalmente adottato, consiste nell'effettuare delle "asciutte parziali", in alternativa alle asciutte totali che sono largamente applicate nei canali.

Occorre definire un battente idrico minimo, sufficientemente alto da consentire la vita dei pesci e, al tempo stesso, sufficientemente ridotto da consentire la realizzazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria dei canali. Tale innovazione implicherà la necessità di adottare dispositivi che consentano di effettuare in sicurezza gli interventi di manutenzione in presenza di acqua. Per la definizione del battente idrico minimo, si veda il paragrafo seguente. In secondo luogo, andrebbe perseguito l'obiettivo di **concentrare gli interventi di manutenzione in un'unica asciutta (ovviamente parziale)**, della quale potrebbe essere eventualmente prolungata la durata. In pratica, si propone di effettuare una delle due asciutte, seguendo i criteri appena esposti, durante la quale saranno concentrati gli interventi di manutenzione; la seconda asciutta, invece, sarà utilizzata solo per effettuare sopralluoghi e per progettare gli interventi da realizzare in seguito e sarà caratterizzata da un livello medio dell'acqua decisamente maggiore (circa 1 metro). La scelta di quale delle due asciutte debba essere sfruttata, per effettuare gli interventi di manutenzione, può essere compiuta in accordo con tutti gli enti coinvolti. Per quanto riguarda gli effetti sulla fauna ittica, è preferibile concentrare gli interventi di manutenzione tra gennaio e marzo. Un'ulteriore proposta, più di carattere tecnico che non gestionale, consiste nella realizzazione, laddove possibile, di opere trasversali, permanenti o provvisorie, con lo scopo di incrementare il battente idrico nei canali, senza dover rilasciare una portata eccessiva. Realizzando delle opere trasversali e alte poche decine di centimetri, è possibile riprodurre su piccola scala la situazione che attualmente già si può riscontrare sul Naviglio Pavese e sul Naviglio di Bereguardo, a monte delle conche di navigazione,

Occorre realizzare asciutte parziali in alternativa alle asciutte complete dei canali della rete artificiale.

E' necessario definire un tirante idraulico minimo che assicuri la vita dei pesci e al tempo stesso consenta le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria

Occorre concentrare gli interventi in un'unica asciutta parziale

Occorre realizzare, laddove possibile, opere trasversali permanenti o mobili, per l'incremento del tirante idraulico senza necessità di maggiori rilasci di portata a monte

Occorre garantire un tirante minimo e dunque una portata minima anche ai canali della rete secondaria

dove la Provincia di Pavia ha messo a punto e collaudato questo tipo di opere, dimostrandone a pieno l'efficacia e la ripetibilità in altri ambienti omologhi. Questo tipo di mitigazioni, rispetto ad una gestione prettamente a servizio della funzione idraulico-agraria dei canali, riguardano la rete principale dei canali irrigui. Per quanto concerne invece la rete secondaria, laddove le opere di presa dei canali sono ad una quota compatibile (non più di 40 cm dal fondo), si ritiene opportuno deviare una portata minima anche verso i canali secondari. Non è chiaramente possibile fornire indicazioni specifiche in merito, ma in linea di massima, viste le caratteristiche morfometriche che generalmente caratterizzano la rete secondaria, si ritiene che la portata di sopravvivenza possa essere dell'ordine di qualche l/s per i canali più piccoli e di qualche decina di l/s per quelli di dimensioni maggiori.

18.1.1 Tirante idraulico minimo

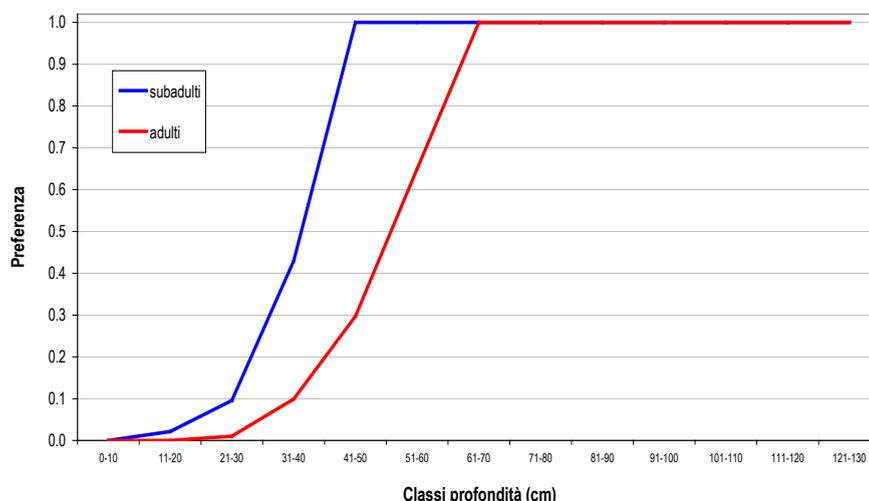
Come anticipato nel paragrafo precedente, la prima condizione necessaria per il mantenimento della fauna ittica nei canali della rete irrigua primaria è la disponibilità d'acqua. Per la determinazione della quantità minima d'acqua, o meglio, della profondità minima dell'acqua, che occorre assicurare in maniera continuativa, è possibile utilizzare le informazioni sulle preferenze ambientali delle specie ittiche più diffuse e dunque rappresentative: cavedano e barbo comune. In particolare, per queste specie sono state elaborate le curve di preferenza (GRAIA srl, 2008; Pouilly & Souchon, 1994), rispetto al parametro di profondità della colonna d'acqua, che sono in grado di indicare quale profondità andrebbe garantita, al fine di consentire la sopravvivenza della fauna ittica presente.

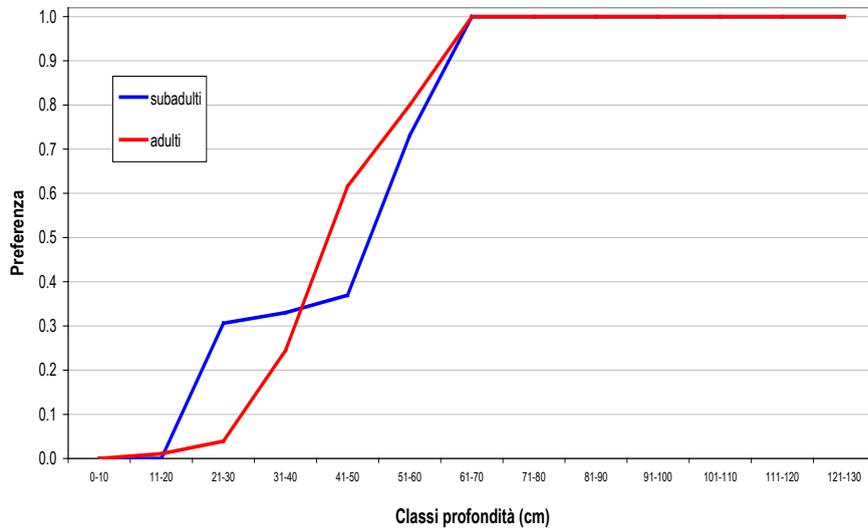
Una curva di preferenza è una relazione matematica che esprime il livello di gradimento da parte di una specie ad un determinato stadio vitale per uno dei parametri ambientali, quali: la profondità dell'acqua, la velocità di corrente e la granulometria del substrato. Tali curve vengono determinate mediante appositi campionamenti, volti all'osservazione e definizione dei microhabitat utilizzati dai pesci all'interno di tratti fluviali. Di seguito sono rappresentate le curve di preferenza del barbo e del cavedano, ai diversi stadi vitali, elaborate per corsi d'acqua lombardi, rispetto alla profondità dell'acqua. Di seguito è anche rappresentata, per un confronto, un'ulteriore curva di preferenza elaborata per il barbo e reperita in letteratura.

I valori soglia di preferenza utilizzati per la definizione del tirante idraulico sono due:

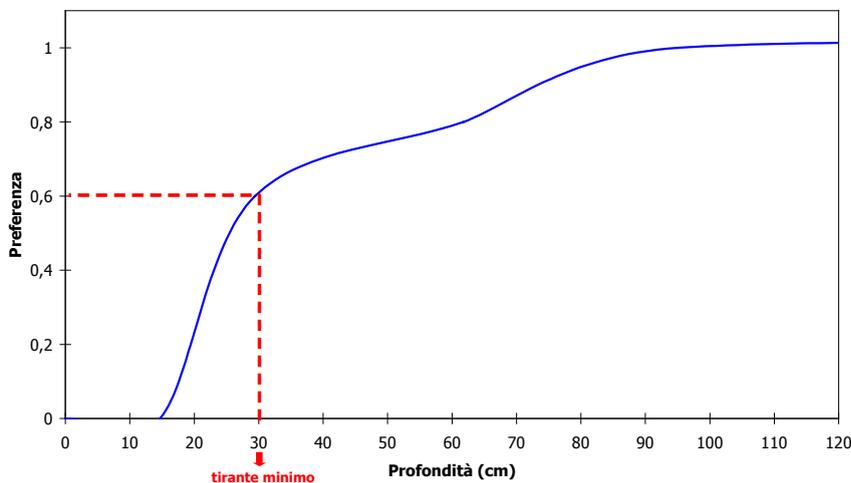
1. **Tirante idraulico imperativo**, che occorre necessariamente rispettare per garantire condizioni minime accettabili di vita per le due specie. Esso è il valore di profondità corrispondente ad una preferenza del 20-30 % del campione e considerato come la profondità minima per conseguire condizioni di vita accettabili della fauna ittica. Tale valore, sulla base delle elaborazioni disponibili, risulta essere pari a 30 cm.
2. **Tirante idraulico desiderabile**, che dovrebbe essere perseguito per raggiungere una buona qualità della vita dei pesci (corrispondente al 60% delle preferenze). Tale valore risulta essere pari a circa 40 cm.

Curva di preferenza del Barbo comune rispetto al parametro di profondità della colonna d'acqua (GRAIA srl, 2008).





Curva di preferenza del Cavedano rispetto al parametro di profondità della colonna d'acqua (GRAIA srl, 2008).



Curva di preferenza del Barbo comune rispetto al parametro di profondità della colonna d'acqua (Pouilly & Souchon, 1994).

Occorre sottolineare, a questo punto, che il tirante idraulico imperativo così definito e determinato nel valore di 30 cm costituisce in realtà un'indicazione di massima, da adattare nel concreto ai singoli casi.

Occorre, infatti, valutare la fauna ittica presente (specie e stadi vitali) e le caratteristiche idrauliche e morfometriche dei canali, anche in virtù degli interventi di riqualificazione che potrebbero essere realizzati (come l'eventuale creazione di zone profonde ospitali per la fauna ittica durante i periodi di asciutta parziale), per verificare che non sia in realtà possibile definire un tirante idraulico anche inferiore, oppure superiore, in ragione delle condizioni specifiche.

Anche l'individuazione della portata di rilascio, necessaria per garantire il tirante imperativo, dipende da condizioni sito-specifiche e deve quindi essere determinata sperimentalmente nei diversi casi, anche al fine di prevedere il mantenimento di un tirante minimo nella rete idrica artificiale secondaria.

A proposito del minimo tirante idraulico, preme segnalare una criticità relativa alla maggiore esposizione dei pesci alla predazione da parte dell'avifauna ittiofaga in periodo di magra. Per la morfologia dei canali e per la manutenzione frequente della vegetazione, accade spesso che i pesci, non potendo disporre di adeguati elementi di rifugio, subiscano una eccessiva pressione predatoria, favorita dalla scarsa profondità dell'acqua. In questi casi, potrebbe essere d'aiuto la predisposizione di coperture in reti protettive, che impediscano agli uccelli di raggiungere i pesci rimasti allo scoperto.

Tali coperture non devono essere necessariamente molto lunghe (una lunghezza minima indicativa può aggirarsi intorno a qualche decina di metri, e comunque deve quantomeno essere pari alla larghezza dell'alveo bagnato), ma devono coprire tutta la sezione trasversale dell'alveo asciutto.

Asciutte di canali artificiali:

Asinistra: banco di pesci rimasto intrappolato in una pozza isolata, in seguito al prosciugamento del canale.

A destra: recupero di pesci concentrati in una buca, tramite elettropesca.



A sinistra: asciutta completa di un canale della rete irrigua primaria.

A destra: esempio di copertura con reti dell'alveo, per la protezione dei pesci dalla predazione dell'avifauna ittiofaga.



18.1.2 Modalità di intervento in alveo durante l'asciutta parziale

Innanzitutto, in merito agli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria cui devono poter essere sottoposti i corsi d'acqua della rete artificiale, basandosi anche su altre esperienze di gestione di reti irrigue, si ritiene che possa essere messo a punto un piano di gestione che consenta di organizzare gli interventi di manutenzione straordinaria, in modo che questi vengano eseguiti a cadenza pluriennale.

In questo modo, verrebbero comunque effettuate delle asciutte parziali con frequenza semestrale, lasciando circa un metro d'acqua nei canali, durante le quali si potrebbero eseguire gli interventi di manutenzione ordinaria (ad esempio la riparazione o la sostituzione delle opere idrauliche).

Gli interventi di manutenzione straordinaria dovrebbero invece essere concentrati in modo tale che, una volta realizzati, non vi sia più la necessità di intervenire per alcuni anni. Gli interventi sulle sponde possono, per esempio, essere organizzati con piani quinquennali o decennali.

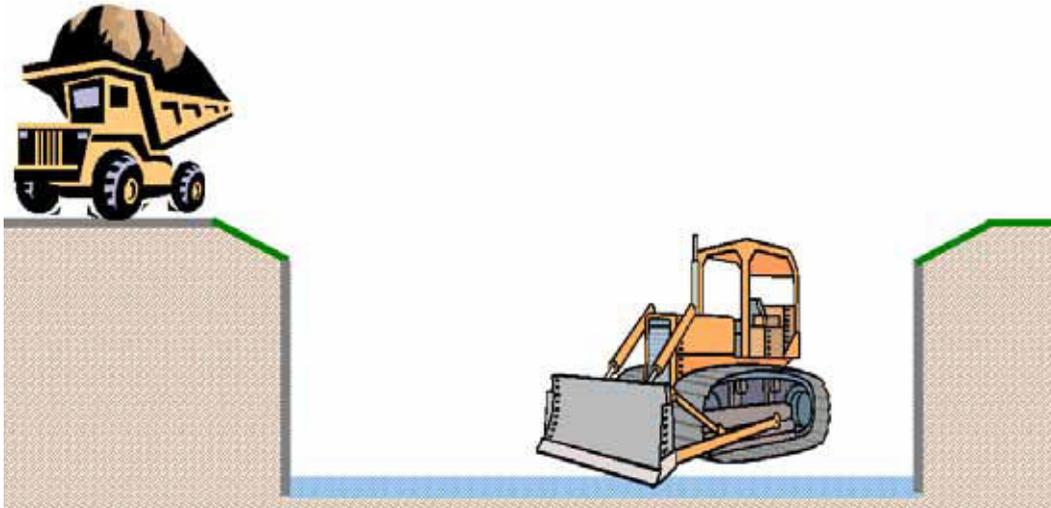
Per quanto riguarda invece gli interventi di dragaggio e pulizia del fondo, la frequenza con cui devono essere eseguiti dipende molto dai singoli canali e dai tratti che li compongono. Si ritiene comunque che anche questo tipo di interventi possano essere programmati su orizzonti temporali più lunghi, prevedendo ad esempio dei programmi ciclici, in cui ogni anno si esegue la pulizia di un diverso tratto. Occorre, inoltre, sottolineare che non tutti gli interventi, sia di manutenzione ordinaria sia di manutenzione straordinaria, sulla rete dei canali irrigui richiedono necessariamente la messa in asciutta. Ad esempio: interventi quali il dragaggio o la rimozione di rifiuti dal fondo possono

essere eseguiti anche in presenza d'acqua, in quanto un battente idrico di poche decine di centimetri consente sia l'utilizzo di escavatori, sia il movimento degli autocarri. Ugualmente, interventi sulla parte alta delle sponde possono essere eseguiti in presenza di acqua, ma in questo caso è opportuno adottare degli accorgimenti per la sicurezza e la funzionalità del cantiere. Infine, interventi quali il consolidamento delle fondazioni delle sponde o interventi sotto il fondo dei canali (attraversamento di infrastrutture, sottopassaggi, etc..) richiedono la messa in asciutta totale del tratto di canale.

Pertanto, la modalità di esecuzione dei lavori in alveo dipende dal tipo e dalle dimensioni degli interventi previsti. Di seguito, si propongono alcune soluzioni adottabili per l'esecuzione di lavori nei canali il più possibile ittiocompatibili.

18.1.2.1 Interventi di pulizia, dragaggio e ricalibratura del fondo

In questo caso, come già anticipato in precedenza, si ritiene che sia possibile intervenire anche in presenza di acqua. Considerando che l'asciutta parziale prevede un tirante idraulico minimo dell'ordine di 30 cm, un escavatore può muoversi e lavorare senza particolari problemi; procedendo da valle verso monte, si evitano anche eventuali problemi dovuti alla torbidità generata dal movimento del sedimento. In tali condizioni, è possibile sia rimuovere materiali quali rifiuti, inerti e resti vegetali, sia dragare e rimodellare il fondo del canale. Meno agevole risulta, invece, l'utilizzo di autocarri: in funzione del numero di assi, delle caratteristiche del fondo e del battente idrico, l'utilizzo di autocarri all'interno dei canali può risultare più difficoltoso. Nella maggior parte dei casi, comunque, i lavori possono essere effettuati lasciando l'autocarro sulle alzaie e l'escavatore in alveo.



18.1.2.2 Interventi che non interessano il perimetro bagnato

In tale categoria si vogliono includere tutte quelle tipologie di intervento che non coinvolgono né il fondo dei canali, né direttamente le sponde. Ad esempio, rientrano in questa categoria gli interventi di manutenzione e riqualificazione delle alzaie, di recupero di strutture quali lavatoi, edifici, etc..

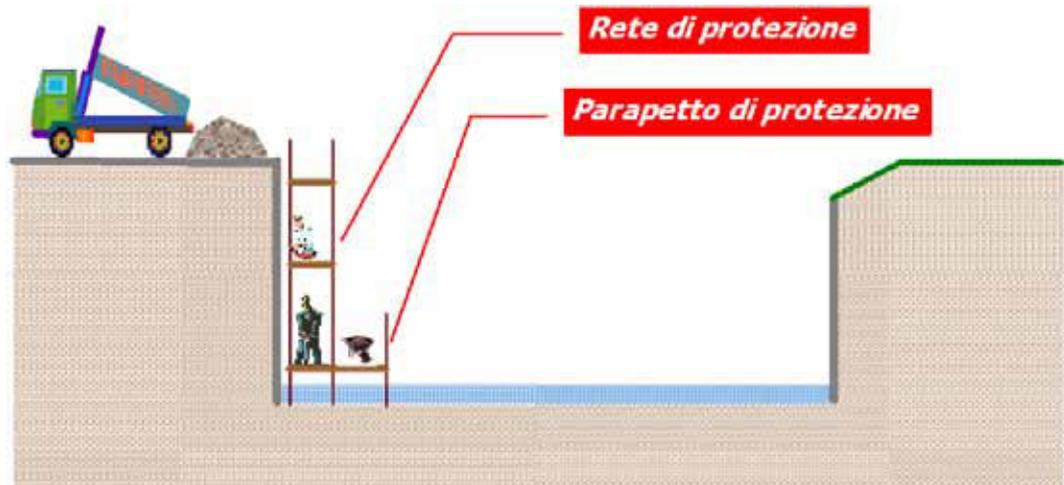
In questi casi, la presenza d'acqua non interferisce direttamente con le lavorazioni, ma potrebbe solo avere delle controindicazioni in termini di sicurezza. Si ritiene, pertanto, che questo tipo di interventi possano essere svolti tranquillamente in presenza d'acqua, adottando, nei casi in cui lo si ritenga necessario, precauzioni quali l'installazione di parapetti, reti e l'utilizzo di segnaletica di cantiere per motivi di sicurezza.



18.1.2.3 Interventi sulla parte media e sommitale delle opere spondali

In regime di asciutta parziale, la maggior parte della sponda dei canali risulta al di sopra del pelo libero dell'acqua. Nei casi in cui gli interventi di manutenzione riguardino esclusivamente questa parte della sponda, non è necessario realizzare opere provvisorie di regimazione idraulica, ma è sufficiente installare delle strutture provvisorie, per poter lavorare in presenza di acqua.

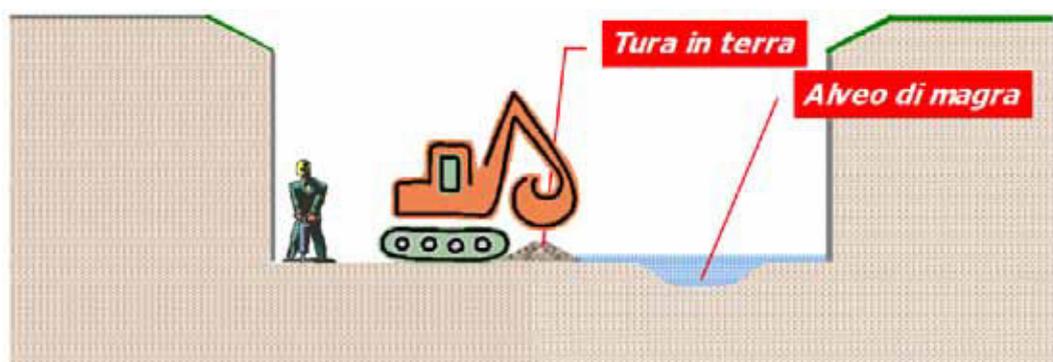
In particolare, in funzione della tipologia di lavoro da eseguire e della lunghezza del tratto di sponda interessata dall'intervento, è possibile o installare un ponteggio provvisorio, o noleggiare un trabattello mobile. In entrambi i casi, le strutture provvisorie devono essere dotate di parapetti, fermapiedi. In alcuni casi, può essere opportuno che il livello più basso abbia una superficie maggiore.



18.1.2.4 Interventi sulle fondazioni delle opere spondali

In questi casi, per poter realizzare gli interventi, è necessario mettere in asciutta il tratto di sponda su cui si prevede di lavorare. Quest'operazione, in funzione della larghezza dell'alveo e della lunghezza del tratto di intervento, può essere svolta in diversi modi: realizzando una tura in terra, utilizzando moduli prefabbricati del tipo New Jersey, utilizzando sacchi di sabbia e, per tutti i casi, ponendo in aggiunta un telo impermeabile in PVC.

Nei casi in cui sia possibile scavare il fondo dei canali, senza ridurne la permeabilità e senza compromettere la stabilità delle opere di difesa spondale, si ritiene che una valida soluzione consista nello scavare una sorta di alveo di magra temporaneo, in cui far defluire tutta o parte della portata corrispondente all'asciutta parziale. In questo modo, le dimensioni del diaframma, che separa l'area bagnata dall'area di cantiere, potrà avere dimensioni minori.



18.1.2.5 Interventi sotto il fondo del canale

In quest'ultimo caso, l'unico modo, per poter realizzare il lavoro in presenza di acqua, è quello di frazionare l'attraversamento in due o più fasi ed adottare le soluzioni previste al punto precedente.

In alternativa, nei casi in cui siano previsti scavi anche all'esterno del canale (ad esempio per la realizzazione di sottopassaggi), è possibile fare uso di spingitubo.

18.2 Interventi di riqualificazione fluviale

Come già accennato, la riqualificazione fluviale dei canali irrigui è già stata oggetto della pubblicazione di Linee Guida da parte della Regione Lombardia (Bischetti *et al.*, 2008). Non si vede, dunque, la necessità di dilungarsi su questo argomento, ampiamente trattato nel dettaglio dal manuale sopraccitato.

Preme, in questo caso, semplicemente ricordare quali debbano essere le principali linee e modalità di intervento sui canali, al fine di incrementarne l'idoneità ad ospitare comunità ittiche stabili e diversificate. Esse sono:

- **La realizzazione di buche artificiali in tratti dove è garantito il ricambio idrico.** Questo intervento, come altri proposti, ha lo scopo di diversificare l'ambiente acquatico, attraverso la creazione di zone più profonde. Le buche artificiali possono rivestire un ruolo notevole in regime di asciutta parziale, e sortire effetti positivi anche rilevanti in regime di piena, costituendo punti di riposo e di rifugio per la fauna ittica. Le buche dovrebbero avere una profondità indicativa di 1 – 1,5 metri e un'estensione dell'ordine di 50 – 100 m². Nel caso vengano scavate, dove è già stato realizzato l'alveo di magra, l'estensione può essere inferiore. E' evidente che esse debbano essere scavate in punti in cui non venga compromessa la stabilità delle sponde e delle opere di protezione spondale. Indicativamente, le buche e gli altri interventi di diversificazione proposti dovrebbero essere distribuiti uniformemente lungo i canali.
- **Ripristino delle dighe *poiret* o berme sommerse.** Con questo intervento si propone di sfruttare le strutture esistenti per il montaggio delle dighe *poiret*, restaurando quelle non più utilizzabili, per creare degli sbarramenti trasversali, in grado di invasare acqua a monte. Nei casi in cui la struttura metallica sia da sostituire, si consiglia l'utilizzo di acciaio. Lo stesso effetto può essere conseguito realizzando delle opere permanenti (berme).
- **Interventi di diversificazione fluviale.** Questa categoria di interventi include tutte le altre opere finalizzate alla diversificazione dell'habitat nei navigli. Oltre alle tipologie di intervento descritte poco sopra, è possibile effettuare interventi di diversificazione, che possono essere puntuali o coprire un tratto di canale, finalizzati alla diversificazione dell'habitat. Tali interventi, così come le buche, hanno un ruolo molto importante in regime di asciutta, ma svolgono la funzione di rifugio e di "zona di calma" anche in regime irriguo. Gli interventi consistono nell'inserire degli elementi sul fondo del canale, in grado di spezzare la corrente, creando zone di turbolenza e zone di calma. Le tipologie più comuni di interventi di questo tipo sono: posa di massi sul fondo e realizzazione di pennelli. In entrambi i casi, le nuove strutture devono avere un'altezza ridotta (50 cm dal fondo attuale), onde evitare di compromettere

la funzionalità idraulica del canale; se, al contrario, in punti specifici, vi è la necessità di aumentare il battente idrico per ragioni legate alla gestione delle utenze irrigue, allora tali opere possono avere dimensioni maggiori ed essere usate a tal fine. I pennelli possono essere spondali o a centro corrente: in entrambi i casi, l'ingombro trasversale deve essere pari a circa il 50% della larghezza utile del canale. I pennelli possono essere realizzati in legno (ancorato al fondo con tondini di ferro) o utilizzando massi di dimensioni appropriate. Questo tipo di opere, con modalità diverse, può essere realizzato sia sui canali con fondo omogeneo, sia all'interno dell'alveo di magra.

- **Creazione di bacini laterali connessi alla rete dei canali.** In questo caso, gli interventi di riqualificazione non coinvolgono direttamente i navigli, ma aree esterne ad essi, connesse idraulicamente agli stessi. Questo tipo di intervento prevede di realizzare degli ambienti acquatici naturali esterni ai canali, cui è necessario garantire il ricambio idrico durante le asciutte, prevedendo anche la possibilità di alimentarli in caso di asciutta totale. Il collegamento idraulico deve essere tale da garantire oltre all'alimentazione idrica, anche il passaggio dei pesci. Affinché tali strutture possano essere utilizzate dalla fauna ittica, anche in caso di asciutta totale, è importante garantire anche un apporto idrico alternativo a quello dei navigli (falda, acquedotti comunali, rogge, ecc...). I laghetti devono preferibilmente avere zone profonde e zone a bassa profondità ed essere dotati di rifugi per la fauna ittica. Inoltre, le sponde devono essere vegetate ed è auspicabile che, in una parte dei bacini (circa il 20% della superficie), sia piantato un canneto. Tali ambienti possono essere realizzati anche sfruttando laghetti o depressioni esistenti. Un'ulteriore opzione consiste nello sfruttare le cave esistenti, per generare ambienti con queste caratteristiche. In questi casi, l'estensione dei bacini sarà chiaramente maggiore.
- **Utilizzo della rete secondaria per il ricovero della fauna ittica.** Tale proposta prevede di sfruttare i canali e le rogge di derivazione per creare ambienti analoghi a quelli descritti al punto precedente. Anche in questo caso, è necessario garantire la continuità idraulica ed ecologica tra i due ambienti, anche al termine dell'asciutta, quando i pesci devono poter "risalire" dal canale secondario all'asta principale. Anche in questo caso, è opportuno garantire all'ambiente laterale una minima portata d'acqua proveniente da altre fonti, in modo che anche in caso di asciutta totale sia garantita la sopravvivenza della fauna ittica presente.
- **Rivegetazione della fascia ripariale.** Le sponde dei canali irrigui sono in grandissima parte "nude", al fine di agevolare, per quanto possibile, qualsiasi intervento di manutenzione. Laddove le sponde sono naturalmente rivegetate, si effettuano periodici sfalci. Pur comprendendo le necessità di garantire la più facile accessibilità ai canali e la migliore manutenzione spondale, è possibile realizzare e mantenere alcuni tratti di sponde vegetati con essenze opportunamente studiate da tecnici agronomi-forestali, in modo da adempiere a diversi compiti: creare un tratto vegetato, con benefici di tutto l'ecosistema, sia acquatico che terrestre; migliorare l'aspetto paesaggistico; consolidare la sponda con l'apparato radicale. Le essenze scelte, oltre a rispettare il criterio dell'autoctonia, dovranno preferibilmente essere piante sempreverdi o avere foglie piccole, per limitare al massimo l'eventuale intasamento di opere idrauliche a valle. In questo caso, il costo dell'intervento è strettamente legato all'essenza che si decide di utilizzare.

18.3 Buone pratiche di sfalcio della vegetazione

Anche questo argomento è stato sufficientemente approfondito nella pubblicazione "La riqualificazione dei canali agricoli: Linee Guida per la Lombardia" (Bischetti *et al.*, 2008), cui si rimanda. Di seguito preme sottolineare concetti e modalità generali, utili ai fini della salvaguardia della fauna ittica. Si ricorda, peraltro, che quanto indicato assume particolare valore, tenendo presente che la L.R. n. 7/03, "Norme in materia di bonifica e irrigazione" e, in particolare, l'art. 5, comma 1, lett. c, sancisce, tra le funzioni dei Consorzi, la "promozione, realizzazione e concorso... di azioni di salvaguardia ambientale ... di risanamento delle acque, anche al fine dell'utilizzazione irrigua e plurima, della rinaturalizzazione dei corsi d'acqua e della fitodepurazione".

Attualmente, al fine di mantenerne l'efficienza idraulica dei canali (e il sistema irriguo ad essi

connesso), essi sono oggetto di attività di manutenzione che prevedono la periodica rimozione della vegetazione acquatica, peraltro con modalità di diserbo e spurgo, molto poco ittiocompatibili.

Innanzitutto andrebbe osservata una tempistica per lo svolgimento di queste operazioni, che tengano primariamente conto del periodo riproduttivo e di primo accrescimento delle specie ittiche presenti. Se i tagli avvengono durante il periodo riproduttivo, i danni a carico delle specie ittiche possono essere rilevanti. Viceversa, se le operazioni vengono condotte fuori da tale periodo, i danni a carico dei pesci possono essere ridotti. A tale riguardo, per l'individuazione dei periodi migliori in cui effettuare la manutenzione della vegetazione acquatica, si richiama il calendario della riproduzione delle specie ittiche native lombarde riportato nel Capitolo relativo alla mitigazione degli effetti dei lavori in alveo.

La tempistica della manutenzione della vegetazione acquatica deve rispettare i periodi riproduttivi e di primo accrescimento delle specie ittiche (native lombarde) presenti nei canali

Riguardo agli strumenti da utilizzare per la manutenzione: il contenimento della vegetazione acquatica viene solitamente effettuato con attrezzi invasivi quali gli erpici rotanti, che risultano economicamente vantaggiosi, ma che sono estremamente dannosi per tutte le forme di vita acquatica, in quanto uccidono o mutilano parte degli animali presenti e determinano insulti meccanici a livello dei substrati, con conseguente distruzione delle eventuali uova deposte. Viceversa risulterebbe a minore impatto per l'ittiofauna l'utilizzo di erpici a barra falciante, che, per struttura e modalità operativa, lavorano relativamente sollevati dal fondo. Nella valutazione degli attrezzi a minore impatto, occorre considerare che il taglio con barre falcianti ha efficacia minore sulla vegetazione rispetto a quello con fresa. La ricrescita delle piante acquatiche è più rapida, per cui si devono prevedere interventi in numero maggiore; in questo caso, occorre dunque valutare bene la necessità di interventi numerosi e ravvicinati e la loro cadenza temporale, oltre che i costi aggiuntivi.

Gli strumenti da prediligere sono erpici a barra falciante

In merito invece alle modalità di manutenzione, è da valutare la possibilità di sostituire allo sfalcio completo e al diserbo, lo sfalcio selettivo con costruzione di un canale di corrente. Esperienze europee (Madsen, 1995) dimostrano che la creazione di canali di corrente, con larghezza pari a un terzo della larghezza totale del corso d'acqua, permette un notevole miglioramento della funzionalità idraulica. Ulteriori aumenti dell'ampiezza di sfalcio, viceversa, forniscono miglioramenti percentualmente trascurabili nello scorrimento delle acque. Occorre pertanto valutare, anche ricorrendo a modelli idraulici, la fattibilità di tale opzione, in quanto il mantenimento della vegetazione acquatica nelle porzioni marginali del canale garantirebbe notevoli benefici dal punto di vista ecologico.

E' preferibile lo sfalcio selettivo con formazione di un canale di corrente

Molto importante, ai fini degli impatti sulla fauna ittica, è anche la modalità con cui i mezzi meccanici si muovono in acqua. Da scartare è l'opzione che prevede l'occupazione e il taglio simultaneo dell'intera sezione dell'alveo, in quanto non lascia spazio di fuga ai pesci presenti, determinandone pertanto una mortalità relativamente elevata. Più accettabile è l'esecuzione dello sfalcio prima da una sponda e poi, dopo un adeguato periodo di tempo, dall'altra, in quanto consentirebbe ai pesci presenti di trovare rifugio nella metà della sezione dell'alveo non interessata dal taglio. Analogamente, sarebbe consigliabile l'esecuzione del taglio da valle a monte, in quanto tale pratica dovrebbe consentire ai pesci di mantenere una adeguata visione (acqua trasparente) e, di conseguenza, in prossimità degli erpici, non dovrebbe ostacolarne la fuga. Al contrario, la presenza di acqua torbida proveniente da monte potrebbe disorientare la fauna ittica, che presenterebbe pertanto maggiori rischi di danneggiamento ad opera degli strumenti di sfalcio.

Occorre operare manovrando da sponda e risalendo il corso d'acqua da valle verso monte

BIBLIOGRAFIA CITATA

- AA.VV., 1984. *Progettazione di passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi – Atti del Seminario Tecnico Regionale di Modena*. Regione Emilia Romagna e Provincia di Modena. Modena: 240 pp.
- AA.VV., 1993. *Manuale Tecnico di Ingegneria naturalistica*. Regione Emilia Romagna e Regione Veneto: 237 pp.
- AA.VV., 1995. *Fish Passage Technology: Protection at Hydropower Facilities*. OTA-ENV- 641 Washington, DC: U. S. Government Printing Office: 167 pp.
- AA.VV., 1995. *Habitat du Poisson – Guide de planification et de réalisation d'aménagements*. Québec Gouvernement e Fondation de la Faune du Québec: 101 pp.
- AA.VV., 1999. Restauration et aménagement des cours d'eau à migrateurs amphihalins. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 353 - 354 suppl.: 99 - 303.
- AA.VV., 2003. *Manuale Tecnico di Ingegneria naturalistica della Provincia di Terni – Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni*. Provincia di Terni e Agenzia Umbria Ricerche: 432 pp.
- AA.VV., 2007. *I.F.F. 2007 Indice di funzionalità fluviale*. APAT, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ARPA Trento.
- ADFG & ADT (Alaska Department of Fish and Game and Alaska Department of Transportation), 2001. *Memorandum of Agreement Between Alaska Department of Fish and Game and Alaska Department of Transportation and Public Facilities for the Design, Permitting, and Construction of Culverts for Fish Passage*. Juneau Alaska, Alaska Department of Fish and Game, Alaska Department of Transportation.
- American Society of Civil Engineers (ASCE), 1995. *Guidelines for design of intakes for hydroelectric plants*. New-York, ASCE Publishers, 471 pp: (cap 7: 215-278).
- Angermeier P.L., Wheeler A.P. & Rosenberger A.E., 2004. A conceptual framework for assessing impacts of roads on aquatic biota. *Fisheries*, 29:19-29.
- APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, 2003. *Atlante delle opere di sistemazione fluviale – Manuale e linee guida*. APAT: 172 pp.
- Armitage P.D., 1984. Environmental changes induced by stream regulation and their effect on lotic macroinvertebrate communities. In: A. Lillehammer & S.J. Saltveit Eds. *Regulated rivers* (Proceedings of the 2nd International Symposium on Regulated Stream Limnology), 139-164. Norwegian Univ. Press.
- Autorità di Bacino del Fiume Po (AdbPo), 1998. *Attività di studio e di ricerca a supporto della redazione del Piano di Bacino – Sottoprogetto S.P. 4.1 "Uso del suolo e agricoltura" – ATT. 4.16 Uso irriguo delle acque*, 3 vol., Roma, 1998.
- Baker C.O. & Votapka F.E., 1990. *Fish passage through culverts*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Prepared by U.S.D.A. Forest Service. FHWA-FL-90-006.
- Bates K., Barnard B., Heiner B., Klavas J. P. & Powers P. D., 2003. *Design of Road Culverts for Fish Passage*. Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia, WA.
- Bayley P.B. & Li H.W., 1992. Riverine Fishes. In: *The Rivers Handbook. Hydrological and Ecological Principles*, Vol.1. Calows P. & Petts G. Eds., Blackwell Scientific Publications, Oxford: 251-281.

- Beach M.H., 1984. *Fish pass design. Criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fishes in rivers*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowerstoft, Fish. Res. Tech. Rep.: 45 pp.
- Begon M., Harper J. L. & Townsend C. R., 1999. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. 3rd ed., Blackwell Science: 855 pp.
- Behlke C.E., Kane D.L., McLean R.P. & Travis M.T., 1991. *Fundamentals of culvert design for passage of weak-swimming fish*. State of Alaska Dept. of Transportation and Pub. Fac. for the Federal Highway Admin., Report No. FHWA-AK-RD-90- 10.
- Bischetti G.B., Chiaradia E.A., Conti M., Di Fidio M., Morlotti E. & Cremascoli F., 2008. La riqualificazione dei canali agricoli. Linee guida per la Lombardia. *Quaderni della Ricerca*, 92: 188 pp.
- Boubée J.A.T. & Williams E.K., 2006. Downstream passage of silver eels at a small hydroelectric facility. *Fisheries Management and Ecology*, 13(3): 165–176.
- Boubée J.A.T., Jowett I. & Nichols S., & Williams E., 1999. *Fish passage at culverts: a review, with possible solutions for New Zealand indigenous species*. Wellington, N.Z., Dept. of Conservation, 65 pp.
- British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection, 2004. *Standards and Best Practices for Instream Works*. Ministry of Water, Land and Air Protection, Vancouver, B.C. document elettronico (<http://wlapwww.gov.bc.ca/sry/iswstdsbpsmarch2004.pdf>)
- Buffagni A. & Erba S., 2007. *Intercalibrazione e classificazione di qualità ecologica dei fiumi per la 2000/60/EC (WFD): l'indice STAR_ICMI*. IRSA-CNR. Notiziario dei Metodi Analitici, March 2007 (1): 94-100.
- Cadario B. & Bischetti G.B., 2006. Caratteri e funzioni del reticolo idrografico rurale della pianura lombarda. *Valutazione Ambientale*, 10: 58-61.
- Calows P. & Petts G., 1992. *The Rivers Handbook. Hydrological and Ecological Principles*, Vol.1, Blackwell Scientific Publications, Oxford. 526 pp.
- Clay C.H., 1995. *Design of Fishways and other fish facilities*. Second Edition. CRC Press. USA: 248 pp.
- Clay, C. 1995. *Design of Fishways and Other Fish Facilities*. 2nd ed., Lewis Publishers, London.
- Coutant C.C. & Whitney R.R., 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129:351-380.
- Dane B.G., 1978. *A review and resolution of fish passage problems at culvert sites in British Columbia*. Department of Fisheries and Environment Canada, Pacific Region. Fisheries and Marine Service, Vancouver, B.C.
- Denil G., 1909. Les échelles à poissons et leur application aux barrages de Meuse et d'Ourthe. *Annales des travaux publics de Belgique*, 2: 152 pp.
- Di Fidio M. & Bischetti G.B., 2008. *Riqualificazione ambientale delle reti idrografiche minori*. Biblioteca Tecnica Hoepli, Hoepli: 300 pp.
- Dixon D.A. (Ed.), 2003. *Biology, management, and protection of catadromous eels*. American Fisheries Society Symposium, Bethesda, Maryland, 33 pp.
- DVWK, 1996. *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle*. In: Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 232, Bonn, Germany.
- FAO/DVWK, 2002. *Fish passes – Design, dimensions and monitoring*. Rome, FAO: 119 pp.
- Florineth F., 2007. *Piante al posto del cemento - Manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*. Il Verde Editoriale: 280 pp.
- Giura, R., DeWrachien, D. & Savi F., 1993. *Il ruolo vitale dell'irrigazione nell'assetto idrologico*

- di una pianura alluvionale fortemente insediata. Il modello matematico di simulazione del sistema degli acquiferi sotterranei tra Ticino, Po, Adda e Prealpi. Seminario ICID 'Ricerche e Sviluppi futuri', Roma.*
- GRAIA srl, 2008. Preferenze ambientali delle specie ittiche del Fiume Serio. Progetto di Ricerca nell'ambito di: Governo dell'acqua in Lombardia verso gli standard europei: definizione e validazione tecnico-scientifica delle azioni prioritarie previste dal Piano di bacino idrografico - Parte A: Studi e proposte a supporto dell'applicazione del Deflusso Minimo Vitale a valle delle opere di presa (Codice IReR: 2006B040). Committente: IRER. Rapporto tecnico. Dati non pubblicati.
- GRAIA srl, 2009. Azione A.4 - Implementazione di un modello decisionale partecipato per l'analisi e l'individuazione delle priorità di intervento. In: "Piano per il ripristino della continuità ecologica dei corpi idrici delle province di Como e di Lecco". Rapporto tecnico consegnato alla FIPSAS e alle province di Como e di Lecco.
- Haycock N.E., Burt T.P., Goulding K.W.T. & Pinay G., 1997. *Buffer zones: their potential role in water protection*. Environmental Agency, UK.
- Jellyman D.J., 2007. Status of New Zealand fresh-water eel stocks and management initiatives. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 1379–1386.
- Jungwirth M., Schmutz S. & Weiss S. (Editors), 1998. *Fish migration and fish bypass channels*. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford: 438 pp.
- Katopodis C., Derksen A.J. & Christensen B.L., 1991. *Assessment of two Denil fishways for passage of freshwater species*. American Fisheries Society Symposium, 10: 306-324.
- Kemp P.S., Gessel M.H., Sandford B.P. & Williams J.G., 2008. Fish behavior and passage efficiency: lessons from North America. *Hydrobiologia*, 609: 205-217.
- Kroes J.G. & Monden S. (Ed.), 2005. *Vismigratie: een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland*. Aminal, Afdeling Water: Brussel: 207 pp.
- Krüger F., 1994. Denil-Fischpässe. *Wasserwirtschaft/ Wassertechnik*, 3/94: 24-32.
- Laine A., Kamula R. & Hooli J., 1998. Fish and lamprey passage in a combined Denil and vertical slot fishway. *Fisheries Management and Ecology*, 5: 31–44.
- Lange G. & Lecher K., 1993. *Gewässerregulung und Gewässerpflege. Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern*. Paul Parey Verlag, Hamburg, Berlin.
- Larinier M. & Marmulla G., 2003. *Fish Passes: Types, Principles and Geographical Distribution – An Overview*. In: *Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries*, 2: Welcomme R.L. and Petr T. Eds. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. RAP Publication 2004/16: 183 – 206.
- Larinier M. & Travade F., 1999. La dévalaison des migrateurs: problèmes et dispositifs. *Bulletin Français de Pisciculture*, 353/354: 181-210.
- Larinier M., 1983. Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, Numero speciale (56): 1-39.
- Larinier M., 2000. *Dams and fish migration*. In: Marmulla (Ed), 2001.
- Larinier M., Chanseau M., Bau F. & Croze O., 2005. *The use of radiotelemetry for optimizing fish pass design*. In: M.T. Spedicato, G. Lembo & G. Marmulla (eds), 2005. *Aquatic Telemetry: Advances and Applications*. Rome: FAO/COISPA: 53-60.
- Lonnebjerg N., 1980. In: FAO/DVWK, 2002. *Fish passes – Design, dimensions and monitoring*. Rome, FAO: 119 pp.
- Madsen B.L., 1995. *Danish Watercourses – Ten years with the new Watercourse Act: collected examples of maintenance and restoration*. Environmental News (Danish Environmental

- Protection Agency), 11: 206 pp.
- Mallen-Cooper M. & Stuart I.G., 2007. Optimising Denil fishways for passage of small and large fishes. *Fisheries Management and Ecology*, 14 (1): 61-71.
- Marmulla G. (ed.), 2001. Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. *FAO Fisheries Technical Paper*, 419. Rome, FAO, 166 pp.
- McFarlane G.A., Wydoski R.S. & Prince E.D., 1990. *Historical review of the development of external tags and marks*. American Fisheries Society, Symposium, 7: 9–29.
- McKeown B. A., 1984. *Fish Migration*. Croom Helm, 224 pp.
- Mitchell C.P. & Boubée J.A.T., 1992. *Impacts of turbine passage on downstream migrating eels. Report to Electricorp production*. New Zealand freshwater fisheries miscellaneous report, 112: 47 pp.
- Mooney D.M., Holmquist-Johnson C.L. & Broderick S., 2007. *Rock Ramp Design Guidelines*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, 102 pp.
- Natale L., Cavallini A. & Bonomi T., 2009. *Le risorse idriche lombarde*. Documento elettronico (<http://www.urbimlombardia.it/documents/relazioneNataleCavallinBonomi.pdf>)
- Newcombe C.P. & MacDonald D.D., 1991. Effects of suspended sediments on Aquatic Ecosystems. *North American Journal of Fisheries Management*, 11: 72-82.
- Newcombe C.P., 1994. *Suspended Sediment in Aquatic Ecosystem: Ill Effects as a Function of Concentration and Duration of Exposure*. Habitat Protection Branch. British Columbia Ministry of Environment, Land and Parks. Victoria, British columbia, Canada: 298 pp.
- Newcombe C.P., 1996. *Channel Sediment Pollution: A Provisional Fisheries Field Guide for Assessment of Risk and Impact*. Habitat Protection Branch. British Columbia Ministry of Environment, Land and Parks. Victoria, British columbia, Canada: 59 pp.
- Nielsen L.A., 1992. *Methods of marking fish and shellfish*. American Fisheries Society Special Publication 23, Bethesda, 208 pp.
- Nikolsky G.V., 1993. *The Ecology of Fish*. Academy Press. London: 351 pp.
- O'Connor J., O'Mahony D. & O'Mahony J., 2003. *Downstream movement of adult murray-darling fish species*. Final Report to Agriculture Fisheries & Forestry Australia, 84 pp.
- Odeh M., 1999. *Innovation in Fish Passage Technology*. American Fisheries Society, USA: 212 pp.
- Office of Technology Assessment (OTA), 1995. *Fish Passage Technologies: Protection at Hydropower Facilities*. OTA-ENV-641 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, September 1995): 167 pp.
- Pouilly M. & Souchon Y., 1994. Simulation de l'habitat physique du barbeau fluviatile (*Barbus barbus*, L. 1758): choix des modèles biologiques et sensibilité de la réponse. *Bulletin Fr. Pêche Pisc.*, 334: 213-225.
- Quirós R., 1989. *Structures assisting the migrations of non Salmonid fish: Latin America*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): 41 pp.
- Rice C.E., Kadavy K.C. & Robinson K.M., 1998. Roughness of Loose Rock Riprap on Steep Slopes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(2): 179-185.
- Romita P.L., Giura R., De Wrachien D. & Galiperti D., 1972. Lo stato attuale delle irrigazioni in Lombardia. *La bonifica e l'assetto territoriale*, Anno XXVI, n. 1.
- Ruggles, C.P. & Murray, D.G. 1983. A Review of Fish Response to Spillways. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1172: 31 pp.
- Schmetterling D.A., Pierce R.W. & Liermann B.W., 2002. Efficacy of Three Denil Fish Ladders for Low-Flow Fish Passage in Two Tributaries to the Blackfoot River, Montana. *North American Journal of Fisheries Management*, 22(3): 929-933.

- Schwalme K., Mackay W.C. & Lindner D., 1985. Suitability of vertical slot and Denil fishways for passing north-temperate, nonsalmonid fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42: 1815-1822.
- Siligardi M. & Maiolini B., 1993. L'inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua alpini. Guida all'uso della scheda RCE-2. *Biologia Ambientale*, 2: 18-24.
- Travade F., Larinier M., Subra S., Gomes P. & De-Oliveira E., 2010. Behaviour and passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.*, 398:01.
- U.R.B.I.M. Lombardia, 2009. *I consorzi di bonifica e di miglioramento fondiario di II°*.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E., 1980. The River Continuum Concept. *Can. J. fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Verdon R., Desrochers D. & Dumont P., 2003. *The Richelieu River and Lake Champlain American eel: a search for a regional-scale solution to a large scale problem*. In: Dixon (Ed), 2003: 125-138.
- Videler J., 1993. *Fish swimming*. Chapman & Hall, Fish and fisheries series: 260 pp.
- Ward J. V., Stanford J. A., 1989. *Riverine ecosystem: the influence of man catchment dynamics and fish ecology*. In D. P. Dodge [ed.] Proceedings of the International Large River Symposium. Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.: 56-64.
- Wardle C.S., 1975. *Limit of fish swimming speed*. Nature, London, 225: 725-727 pp.
- Wardle C.S., 1980. *Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes*: 519-531. In: M.A. Ali (Ed), 1980. Environmental Physiology of Fishes, Plenum Press (ed.) New York and London: 723 pp.
- WDFW - Washington Department of Fish and Wildlife - Habitat and Lands Program – Environmental Engineering Division, 1999. *Fish passage design at road culvert – A design manual for fish passage at road crossings*. WDFW: 49 pp.
- WDFW - Washington Department of Fish and Wildlife, Habitat Program, Environmental Engineering Division, 2000. *Fish Passage Barrier and Surface Water Diversion Screening Assessment and Prioritization Manual*. WDFW: 81 pp.
- Wheeler A.P., Angermeier P.L. & Rosenberger A.E., 2005. Impacts of new highways and subsequent landscape urbanization on stream habitat and biota. *Reviews in Fisheries Science*, 13: 141-164.
- Whittaker, J. & Jäggi, M., 1986. *Blockschwellen*. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Heft 91, ETH Zürich, Switzerland.
- Zerunian S., 2007. Problematiche di conservazione dei Pesci d'acqua dolce italiani. In: La fauna ittica dei corsi d'acqua: qualità ambientale, ricerca e conservazione della biodiversità. *Biologia Ambientale*, 21 (2): 49-55.
- Zhou, Y., 1982. *The swimming behaviour of fish in towed gears; a re-examination of the principles*. Scott. Fish. Work. Pap. Of the Department. Agric. Fish. Scott., (4): 55 pp.

APPENDICE A

ESEMPIO DI SCHEDA CENSUARIA DEGLI SBARRAMENTI FLUVIALI

| | | | |
|--|-------------------|--|-------------------|
| Scheda n° | | <i>Fotografia della sbarramento</i> | |
| Data del rilievo | | | |
| Operatori | | | |
| Corso d'acqua | | | |
| Comune | | | |
| Località | | | |
| COORD_Longitudine Est | | | |
| COORD_Latitudine Nord | | | |
| DESCRIZIONE DISCONTINUITA' | | | |
| Tipologia | | | |
| Dislivello monte-valle (cm) | | | |
| Valicabilità per la fauna ittica | Si | Parziale | No |
| Passaggio per pesci | Presente | Assente | x |
| Funzionalità del passaggio | Si | Parziale | No |
| Materiale di costruzione | | | |
| Tipo di passaggio | | | |
| DESCRIZIONE SPONDE | | | |
| Tratto a monte della discontinuità | | Tratto a valle della discontinuità | |
| Sponda sinistra | Sponda destra | Sponda sinistra | Sponda destra |
| Cementificata | Cementificata | Cementificata | Cementificata |
| Massi ciclopici x | Massi ciclopici x | Massi ciclopici x | Massi ciclopici x |
| Roccia | Roccia | Roccia | Roccia |
| Vegetazione | Vegetazione | Vegetazione | Vegetazione |
| Altro | Altro | Altro | Altro |
| STRUTTURA DEL FONDO DELL'ALVEO | | | |
| Tratto a monte della discontinuità | | Tratto a valle della discontinuità | |
| Naturale x | | Naturale x | |
| Artificiale | | Artificiale | |
| Altro | | Altro | |
| Asciutto | | Asciutto | |
| Note: limite inferiore del tratto che non va mai in asciutta. | | | |
| VALUTAZIONE DEGLI ELEMENTI PROGETTUALI | | | |
| Salto (m): | | | |
| Difficoltà realizzativa: | | Bassa | Media |
| | | Alta | Elevata |
| VALUTAZIONE DEGLI ELEMENTI ECOLOGICI | | | |
| TRATTO DI MONTE | | TRATTO DI VALLE | |
| Lunghezza: | | Lunghezza: | |
| Vocazionalità: | | Vocazionalità: | |
| Specie ittiche: | | Specie ittiche: | |
| Classificazione delle acque: | | Classificazione delle acque: | |
| Specie della Direttiva Habitat: | | Specie della Direttiva Habitat: | |
| Indice di Funzionalità Fluviale: PUNTEGGIO TOTALE ____ CLASSE ____ | | Indice di Funzionalità Fluviale: PUNTEGGIO TOTALE ____ CLASSE ____ | |
| Indice STAR-ICMI: | | Indice STAR-ICMI: | |
| Pressione aleutica: | | Pressione aleutica: | |
| Protezione amministrativa: | | Protezione amministrativa: | |

APPENDICE B

CARTA DELLA FRAMMENTAZIONE E DELLA PERCORRIBILITÀ FLUVIALE

In ambito regionale il fenomeno della frammentazione fluviale è capillarmente diffuso in tutto il reticolo idrografico di interesse ittico, e riguarda ambienti sia montani sia pianiziali. Nell'ampio panorama delle discontinuità fluviali che insistono sui corsi d'acqua lombardi, emerge quale situazione di principale criticità l'impercorribilità ittica di quegli stessi fiumi che dovrebbero garantire il collegamento tra il sistema dei laghi prealpini e il Fiume Po. Tali fiumi peraltro, ciascuno con i propri affluenti, ospitano, quantomeno nei tratti pedemontani e di pianura, la gran parte del patrimonio ittico regionale, comprendente anche le specie di maggiore pregio ittiofaunistico; per questo motivo essi sono stati considerati prioritari nella stesura della prima carta della frammentazione fluviale redatta a livello regionale.

In particolare, la carta illustra i seguenti aspetti relativi alla frammentazione fluviale:

1. I nodi di discontinuità costituiti da tutte quelle opere artificiali di interruzione della continuità fluviale che costituiscono di per sé un ostacolo alla risalita dei pesci (indipendentemente dalla presenza di strutture o impianti atti a consentire il passaggio della fauna ittica); non sono state quindi considerate tutte le opere o manufatti artificiali che risultano valicabili dai pesci senza l'ausilio di impianti di risalita.
2. La percorribilità ittica dei diversi tratti fluviali derivante dall'attuale quadro di frammentazione del reticolo idrografico.

NODI DI DISCONTINUITÀ FLUVIALE

I principali nodi di discontinuità fluviale che impediscono la piena percorribilità da parte della fauna ittica lungo i diversi tratti, sono stati classificati secondo le seguenti tipologie:

- Invalicabile, quando l'opera non consente il passaggio a nessuna specie ittica, in nessun periodo dell'anno; questa tipologia comprende anche le opere per le quali è stato realizzato un passaggio artificiale per pesci che però non risulta attualmente funzionante;
- Parzialmente invalicabile, nel caso in cui l'opera risulti valicabile soltanto da alcune specie ittiche e/o in funzione delle condizioni idrologiche del corso d'acqua; sono state inserite in questa tipologia anche le opere munite di un passaggio artificiale per pesci non sempre operante o, anche in questo caso, non valicabile da tutte le specie ittiche;
- Valicabile, riferita a quelle opere per le quali è stato realizzato idoneo passaggio artificiale per pesci; in questa tipologia rientrano anche le opere per le quali il passaggio per pesci risulta in corso di realizzazione.

In tutti i casi in cui il passaggio per pesci risulti ancora in fase di progettazione, o sia in attesa di realizzazione, l'opera in oggetto è stata classificata sulla base del suo stato di valicabilità attuale.

A ciascun nodo di discontinuità è stato attribuito un codice identificativo che lo rende rintracciabile nella tabella descrittiva riportata in questa Appendice. La tabella, oltre a riportare la localizzazione dell'opera, ne indica la tipologia e specifica la funzionalità del passaggio per pesci se presente, o la sua eventuale previsione di realizzazione.

PERCORRIBILITÀ ITTICA

In merito alla percorribilità ittica, i diversi tratti fluviali sono stati classificati secondo quattro categorie di percorribilità individuate come segue:

- Ottimale: piena percorribilità da parte di tutte le specie facenti parte della comunità ittica, comprese quelle migratrici che sono libere di risalire i corsi d'acqua a partire dal mare, o quantomeno da parte di tutte le specie che necessitano di risalire per lo svolgimento di fasi chiave del proprio ciclo vitale;
- Buona: percorribilità piena a livello di tratto fluviale omogeneo e/o di sottobacino, che però non soddisfa le esigenze di tutte le specie della comunità ittica;

- Scarsa: ridotta percorribilità ittica di un tratto fluviale nel quale la gran parte delle specie non è libera di spostarsi secondo le proprie potenzialità;
- Pessima: percorribilità estremamente ridotta dalla presenza di numerose discontinuità fluviali lungo un modesto tratto di fiume.

La tematica della percorribilità è stata affrontata mediante l'illustrazione non soltanto dello stato di fatto che caratterizza i corsi d'acqua, ma anche di tre differenti "scenari" che rappresentano il progressivo miglioramento della percorribilità fluviale a seguito di interventi di deframmentazione ipotizzati a breve, medio e lungo termine.

Lo "stato di fatto" illustra una percorribilità ottimale unicamente per il Fiume Po dalla Diga di Isola Serafini al mare, e per i tratti terminali dei fiumi Adda, Oglio e Mincio. La realizzazione di un passaggio per pesci in corrispondenza di tale sbarramento emerge come intervento prioritario in assoluto (**Scenario 1**), essendo strategico per consentire la piena percorribilità da parte delle specie migratrici quali l'anguilla e lo storione che potranno spostarsi dal mare lungo il corso del Po fino al Ticino (ad oggi percorribile interamente) e al Lago Maggiore. Una volta mitigata la discontinuità sul Po, potrà essere perseguito un ulteriore stadio di percorribilità: **Scenario 2**, riferito al medio periodo. Per tale fase è stata ipotizzata una serie di interventi di deframmentazione sui Fiumi Adda, Oglio, Mincio e Tresa che consentirebbero da una parte di estendere la via percorribile dal mare, dall'altra di ricollegare i grandi laghi ai loro immissari, a favore di tutte le specie ittiche lacustre che hanno la naturale esigenza di risalire. Raggiunto anche questo livello di deframmentazione, potrà essere perseguito un ulteriore stadio (**Scenario 3**) di lungo termine, in cui tutti i grandi corsi d'acqua lombardi saranno interamente percorribili dal mare, attraverso i laghi.

| Codice | Provincia | Comune | Località | Tipologia | Note |
|-----------------------|-----------|--|--|---|---|
| Flume Adda | | | | | |
| AD01 | SO | Semio | In prossimità del centro abitato | Opera di derivazione | |
| AD02-13 | SO | Semio - Tirano | In prossimità del centro abitato - Baruffini - Cologna | Serie di 12 briglie di contenimento | Previsto intervento di risoluzione |
| AD14 ² | SO | Chiuro - Castello dell'Acqua | Ponte del Baghetto | Opera di derivazione | Passaggio per pesci non funzionante |
| AD15 | SO | Ardenno | Pilasco | Opera di derivazione | Passaggio per pesci in corso di realizzazione |
| AD16 ² | SO | Morbegno | S. Croce - a valle del ponte stradale | Briglia di contenimento | |
| AD17 ² | CO | Gera Lario | A valle del ponte per Colico | Briglia di contenimento | |
| AD18 | CO | Olginate | Incile del Lago di Olginate | Opera di derivazione | |
| AD19 | BG - LC | Calusco d'Adda - Robbiate | In prossimità dei centri abitati | Opera di derivazione | Passaggio per pesci mal funzionante |
| AD20 | BG - LC | Calusco d'Adda - Paderno d'Adda | A valle del Ponte d'Adda di Paderno | Opera di derivazione | Passaggio per pesci mal funzionante |
| AD21 | BG - MI | Capriate S. Gervasio - Trezzo sull'Adda | In prossimità dei centri abitati | Opera di derivazione | Passaggio per pesci non funzionante |
| AD22 | BG - MI | Capriate S. Gervasio - Trezzo sull'Adda | Concesa - a valle del ponte Autostrada A4 | Opera di derivazione | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| AD23 | BG | Canonica d'Adda - Vaprio d'Adda | S. Anna | Opera di derivazione | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| AD24 | MI - BG | Cassano d'Adda - Fara Gera d'Adda | Cascinetto Rosso | Opera di derivazione | Passaggio per pesci mal funzionante |
| AD25 | MI | Cassano d'Adda | Molino Colonnella | Opera di derivazione | Passaggio per pesci mal funzionante |
| AD26 | MI | Cassano d'Adda | Canarana | Opera di derivazione | |
| AD27 | MI | Cassano d'Adda | Cascina Seriole - a monte del ponte smantellato | Briglia di contenimento | |
| AD28 | CR | Rivolta d'Adda | A valle del ponte stradale - provinciale Rivoltana | Briglia di contenimento | Passaggio per pesci non funzionante |
| AD29 ² | LOI | Merlino | Preso del Canale Vacchelli | Opera di derivazione | |
| AD30 ² | CR - LO | Spino d'Adda - Zelo Buon Persico | A valle del Ponte di Binate | Briglia di contenimento | |
| AD31 ² | LO | Lodi | Revellino - a valle del ponte | Briglia di contenimento | |
| AD32 ² | CR | Pizzighetone - Maleo | A valle del ponte ferroviario | Briglia di contenimento | Passaggio per pesci non funzionante |
| AD33 ² | LO - CR | Maccasterna - Castelnuovo Bocca d'Adda - Crotta d'Adda | In prossimità della confluenza nel Po | Briglia di contenimento | |
| Flume Bardello | | | | | |
| BA01 | VA | Gavirate - Bardello | A valle del ponte stradale per Bardello | Opera di regolazione dei livelli del Lago di Varese | |
| BA02 | VA | Besozzo | Madre | Briglia di contenimento | |
| BA03 | VA | Besozzo | Madre | Briglia di contenimento | |
| BA04 | VA | Besozzo | Centro abitato | Briglia di contenimento | |
| BA05 | VA | Besozzo - Brebbia | Ronché | Briglia di contenimento | |
| BA06 | VA | Besozzo - Brebbia | Ronché | Briglia di contenimento | |
| BA07 | VA | Besozzo - Brebbia | Ghiggerima | Briglia di contenimento | |
| BA08 | VA | Besozzo - Brebbia | Stamperia di Brebbia | Briglia di contenimento | |

Nodi di discontinuità fluviale rilevati nel reticolo idrografico di interesse (si consulti la Carta allegata al Quaderno).

| Fiume Mera | | | | | |
|--|---------|-----------------------------------|--|---|---|
| ME01 | SO | Chiavenna | Tanno | Briglia di contenimento | |
| ME02 | SO | Mese - Prata Camporaccio | S. Vittore - a valle del ponte | Opera di derivazione | |
| Fiume Mincio | | | | | |
| MI01 ¹ | MN | Ponti sul Mincio - Monzambano | Salonze | Opera di regolazione dei livelli del Lago di Garda e di derivazione | |
| MI02 ² | MN | Volta Mantovana - Marmirolo | Pozzolo | Opera di difesa idraulica e di derivazione | |
| MI03 | MN | Golto | Sacca | Opera di difesa idraulica | |
| MI04 | MN | Ponte dei Molini o - Vassarone | Lago Superiore - Lago di Mezzo | Opera di regolazione idraulica | |
| MI05 ² | MN | Roncoferraro - Bagnolo S. Vito | Governolo | Opera di difesa idraulica | |
| Fiume Oglio | | | | | |
| OG01 ¹ | BR | Sonico | A valle del bacino di Edolo | Opera di derivazione | |
| OG02 ² | BR | Malonno | A monte del Ponte delle Capre | Traversa d'arresa | |
| OG03 ¹ | BR | Berzo Demo | Forno Alicata | Doppia briglia di contenimento | |
| OG04 ¹ | BR | Cedegolo - Sellero | Plan dei Zu | Opera di derivazione | |
| OG05 ¹ | BR | Cedegolo - Sellero | Plan dei Zu | Doppia briglia di contenimento | |
| OG06 ¹ | BR | Sellero | Bacino idroelettrico di Sellero | Briglia di contenimento | |
| OG07 ¹ | BR | Capo di Ponte | Bacino idroelettrico di Sellero | Tripla briglia di contenimento | |
| OG08 ¹ | BR | Capo di Ponte | Cemmo | Briglia di contenimento | |
| OG09 ¹ | BR | Capo di Ponte | Cemmo - confluenza T. Ciegna | Briglia di contenimento | |
| OG10 ¹ | BR | Losine | Crist | Briglia di contenimento | |
| OG11 | BR | Cividate Camuno | Borgo Olcese | Briglia di contenimento | |
| OG12 | BR | Esine - Piancogno | Colombera - a valle del ponte | Opera di derivazione | Passaggio per pesci in corso di realizzazione |
| OG13 ¹ | BR | Darfo Boario Terme | Montecchio | Briglia di contenimento | |
| OG14 ¹ | BR | Darfo Boario Terme | Coma - confluenza T. Dezzo | Briglia di contenimento | |
| OG15 ¹ | BR | Darfo Boario Terme - Gianico | Bessimo Superiore | Briglia di contenimento | |
| OG16 ¹ | BR | Darfo Boario Terme - Gianico | Bessimo Superiore | Briglia di contenimento | |
| OG17 | BR - BG | Paratico - Samico | Fosio | Opera di derivazione | Prevista realizzazione passaggio per pesci |
| OG18 | BR - BG | Capriolo - Credaro | S. Fermo | Opera di derivazione | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| OG19 | BG - BR | Castelli Calepio - Capriolo | Castelrampino | Opera di derivazione | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| OG20 | BG - BR | Castelli Calepio - Palazzolo | Colombero | Opera di derivazione | Prevista realizzazione passaggio per pesci |
| OG21 | BR | Palazzolo sull'Oglio | Centro abitato - a monte del ponte | Briglia di contenimento | |
| OG22 | BR | Palazzolo sull'Oglio | Cascina Foppella | Opera di derivazione | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| OG23 | BG - BR | Palosco - Pontoglio | Cascina Rovazzano | Opera di derivazione | |
| OG24 | BR | Pontoglio | Cascina Convento | Opera di derivazione | |
| OG25 | BR | Pontoglio | Cascina Santello | Opera di derivazione | |
| OG26 | BR - BG | Pontoglio - Cividate al Piano | Madonna dei Campi Vini | Opera di derivazione | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| OG27 | BG - BR | Cividate al Piano - Urigo d'Oglio | Porte Naviglio - Motta Bassa | Opera di derivazione | |
| OG28 | BG - BR | Calcio - Urigo d'Oglio | Cascina Lamone | Opera di derivazione | |
| OG29 | BG - BR | Calcio - Urigo d'Oglio | Cascina Lovello | Opera di derivazione | |
| OG30 | BG - BR | Calcio - Urigo d'Oglio | Cascina Borella | Opera di derivazione | |
| OG31 | BG - BR | Pumengo - Rudiano | Cascina Peschiera | Opera di derivazione | |
| OG32 | BG - BR | Torre Pallavicina - Roccafranca | Cascina Zamboni | Opera di derivazione | |
| OG33 | BR | Roccafranca | Allivamento trote - Cascina Circolo | Opera di derivazione | |
| OG34 ¹ | CR | Isola Dovarese | Le Caselle - a valle del ponte | Briglia di contenimento | |
| Fiume Po | | | | | |
| PO01 ¹ | CR | Castelnuovo Bocca d'Adda | Isola Serafini | Opera di derivazione | |
| Fiume Ticino | | | | | |
| TI01 | VA | Somma Lombardo | Porto della Torre | Opera di derivazione | Passaggio per pesci in corso di realizzazione |
| TI02 | VA | Somma Lombardo | Panperduto | Opera di derivazione | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| Fiume Tresa | | | | | |
| TR01 | VA | Lavena Ponte Tresa | Lungo il confine con il Canton Ticino, a valle del ponte doganale | Opera di regolazione del livello del Lago di Lugano | Passaggio per pesci a bacini successivi |
| TR02 ¹ | VA | Luino | Creva | Opera di derivazione | |
| TR03 ¹ | VA | Luino | Creva | Briglia di contenimento | |
| ¹ Intervento prioritario a breve termine (Scenario 1) ² Intervento prioritario a medio termine (Scenario 2) | | | Legenda: Invalidabile Parzialmente validabile Validabile | | |

**INTERVENTI IDRAULICI ITTIOCOMPATIBILI:
 LINEE GUIDA**

Quaderni della ricerca n. 125 - gennaio 2017

**CARTA DELLA FRAMMENTAZIONE
 E DELLA PERCORRIBILITÀ FLUVIALE**

SCENARIO 1 - Breve termine
 Intervento di deframmentazione sul Fiume Po
 presso la Diga di Isola Stradella



SCENARIO 2 - Medio termine
 Interventi di deframmentazione sui Fiumi Adda, Oglio,
 Mincio e Trebia



SCENARIO 3 - Lungo termine
 Piena percorribilità fluviale



LEGENDA

- Nodi di discontinuità fluviale
- Inalciabile
- Percorribilità variabile
- Valcolabile
- Percorribilità totale
- Ottimale
- Buona
- Scarsa
- Pessima
- Laghi
- Centri provinciali

