

Deliberazione della Giunta Regionale 13 luglio 2015, n. 25-1741

L.r. 37/2006, art. 12. Approvazione delle "Linee guida tecniche per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica".

A relazione dell'Assessore Ferrero:

Premesso che,

l'articolo 12 (Lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici), commi 6 e 7 della legge regionale 29 dicembre 2006, n. 37 "Norme per la gestione della fauna acquatica, degli ambienti acquatici e regolamentazione della pesca" e ss.mm.ii. prevede la costruzione di idonee scale di risalita atte a favorire la libera circolazione dei pesci nei casi di progetti di opere d'interesse pubblico o privato che prevedono l'occupazione totale o parziale degli alvei e per le dighette, le briglie e gli sbarramenti in genere, già esistenti, quando la loro stabilità richieda opere di manutenzione straordinaria o ristrutturazione;

la "Disciplina delle modalità e procedure per la realizzazione di lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici, ai sensi dell'art. 12 della legge regionale n. 37/2006", approvata con D.G.R. n. 72-13725 del 29 marzo 2010 e modificata con D.G.R. n. 75-2074 del 17 maggio 2011, al punto 8 stabilisce l'individuazione di linee guida tecniche per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica;

con Determinazione Dirigenziale n. 3 dell'8 gennaio 2010 è stato approvato il progetto presentato dal Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG), presentato ai sensi del D.lgs. 143/97;

nell'ambito di tale progetto, finalizzato al recupero delle acque interne, comprese le zone di riproduzione e le rotte utilizzate dalle specie ittiche migratorie, sono state elaborate, a cura del gruppo di lavoro costituito dal Politecnico di Torino in collaborazione con l'Università degli Studi di Torino - Facoltà di Medicina Veterinaria - Dipartimento di Produzioni Animali, Epidemiologia ed Ecologia e la Provincia di Torino, indicazioni tecniche per la realizzazione delle diverse tipologie di passaggi per pesci e la conseguente loro verifica di funzionalità, denominate "Linee guida per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica", utili per le finalità di cui al citato punto 8 della D.G.R. n. 72-13725 del 29 marzo 2010 modificata con D.G.R. n. 75-2074 del 17 maggio 2011;

considerato che in data 4 febbraio 2015 le suddette "Linee guida per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica" sono state trasmesse alle Direzioni regionali e all'ARPA facenti parte del gruppo di lavoro istituito ai sensi della D.G.R. n. 4-6153 del 18 giugno 2007, per le opportune valutazioni;

preso atto delle osservazioni pervenute il 13 febbraio 2015 dall'ARPA Piemonte;

vista la direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 (Direttiva acque) che istituisce un quadro di riferimento in materia di acque;

visto il D.lgs. 152/2006 e s.m.i. di recepimento della "Direttiva Acque";

visto il Piano di Tutela della acque approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 117-10731 del 13.03.2007;

visto il Regolamento regionale 17 luglio 2007, n. 8/R recante: “Disposizioni per la prima attuazione delle norme in materia di deflusso minimo vitale (legge regionale 29 dicembre 2000, n. 61)”;

visto il Decreto del Presidente della Giunta Regionale 10 gennaio 2012, n. 1/R. Regolamento regionale recante “Nuove disposizioni attuative dell’articolo 9, comma 3 della legge regionale 29 dicembre 2006, n. 37 (Norme per la gestione della fauna acquatica, degli ambienti acquatici e regolamentazione della pesca). Abrogazione del regolamento regionale 21 aprile 2008, n. 6/R”, modificato con Decreto del Presidente della Giunta Regionale 8 febbraio 2013, n. 1/R. “Modifiche all’articolo 19 del regolamento regionale 10 gennaio 2012, n. 1/R in materia di gestione della fauna acquatica e regolamentazione della pesca”;

ritenuto di approvare le “Linee guida tecniche per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica”, allegate alla presente deliberazione per farne parte integrante e sostanziale, in attuazione del punto 8 della D.G.R. n. 72-13725 del 29 marzo 2010, modificata con D.G.R. n. 75-2074 del 17 maggio 2011, con la quale è stata approvata la “Disciplina delle modalità e procedure per la realizzazione di lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici ai sensi dell’art. 12 della legge regionale n. 37/2006”;

tutto ciò premesso,

la Giunta regionale, con voto unanime espresso nelle forme di legge,

delibera

- di approvare le “Linee guida tecniche per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica”, allegate alla presente deliberazione per farne parte integrante e sostanziale, in attuazione del punto 8 della “Disciplina delle modalità e procedure per la realizzazione di lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici ai sensi dell’art. 12 della legge regionale n. 37/2006”, approvata con D.G.R. n. 72-13725 del 29 marzo 2010, modificata con D.G.R. n. 75-2074 del 17 maggio 2011;

- di prendere atto che la presente deliberazione non comporta oneri a carico del bilancio regionale. Avverso alla presente deliberazione è ammesso ricorso giurisdizionale avanti al TAR entro 60 giorni dalla data di comunicazione o piena conoscenza dell’atto, ovvero ricorso straordinario al Capo dello Stato entro 120 giorni dalla suddetta data, ovvero l’azione innanzi al Giudice Ordinario, per tutelare un diritto soggettivo, entro il termine di prescrizione previsto dal Codice Civile. La presente deliberazione sarà pubblicata sul B.U. della Regione Piemonte ai sensi dell’articolo 61 dello Statuto e dell’articolo 5 della L.R. n. 22/2010.

(omissis)

Allegato



Assessorato Agricoltura, caccia e pesca
Direzione Agricoltura
Settore Tutela e gestione della fauna selvatica
e acquatica

Linee guida per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica



Indice

Indice	1
1. Premessa	2
2. Quadro normativo	3
3. L'ittiofauna del reticolo idrografico regionale	9
4. Migrazioni dell'ittiofauna	23
5. Passaggi per pesci: principi generali	32
5.1. Ubicazione del passaggio	42
6. Passaggi naturalistici	61
6.1. Bottom ramp	62
6.2. Fish ramp	66
6.3. Canali by-pass	71
7. Passaggi tecnici	77
8. Migrazione a valle (downstream migration)	89
9. Monitoraggio dei passaggi per pesci	96
10. Sintesi degli elementi base da sviluppare e verificare nei progetti di passaggi per la libera circolazione della fauna ittica	106

1. Premessa

Le presenti linee guida intendono costituire un documento tecnico di riferimento a livello regionale per la progettazione e verifica dei passaggi per pesci, così come previsto dalla D.G.R. n. 72-13725 del 29 marzo 2010, modificata con D.G.R. n. 75-2074 del 17 maggio 2011, nella "Disciplina delle modalità e procedure per la realizzazione di lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici ai sensi dell'art. 12 della legge regionale n. 37/2006".

Esse sono state elaborate nell'ambito di un progetto sviluppato dal Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG), presentato ai sensi del D.lgs 143/97 e realizzato a cura del gruppo di lavoro costituito dal Politecnico di Torino in collaborazione con l'Università degli Studi di Torino – Facoltà di Medicina Veterinaria - Dipartimento di Produzioni Animali, Epidemiologia ed Ecologia e la Provincia di Torino.

2. Quadro normativo

Il quadro normativo relativo ai passaggi per l'ittiofauna fa riferimento a due normative nazionali risalenti ai primi anni del secolo scorso.

L'art. 6 del Regio Decreto n. 1486 del 22 novembre 1914 "Regolamento per la pesca fluviale e lacuale" e s.m.i., stabilisce che: "in caso di concessioni di derivazioni d'acqua, a scopo industriale od agrario, il Prefetto dovrà esaminare se occorra prescrivere ai concessionari scale di monta, piani inclinati, graticci all'imbocco di canali di presa, ed altre misure a tutela degli interessi della pesca. A tal uopo sentirà la Commissione Provinciale di pesca e l'Ufficio del Genio Civile, dopo il che, se si tratti di concessione d'acqua di sua competenza, emanerà gli ordini corrispondenti, per le eventuali modificazioni od aggiunte ai progetti delle opere, e per le clausole da inserire nel disciplinare di concessione, dandone subito partecipazione al Ministero di agricoltura, industria e commercio. Ove invece si tratti di concessione da fare con decreto del Ministero delle finanze o con decreto reale, il Prefetto, nell'inviare gli atti al Ministero di agricoltura, industria e commercio, a tenore del regolamento sulle derivazioni di acqua pubblica, dovrà proporre le norme necessarie a tutela degli interessi sulla pesca: tali norme saranno approvate con l'atto di concessione. Per le concessioni che già esistono, in caso di reclami ed allo scopo di conciliare gli interessi della pesca con quelli di altre industrie, il Prefetto potrà, seguendo l'anzidetta istruttoria, emanare o proporre le sue menzionate prescrizioni, ovvero ordinare o proporre la modificazione delle scale o degli altri manufatti, per la tutela della pescosità. Contro i provvedimenti adottati, nella sua competenza, dal Prefetto, è ammesso ricorso al Ministero di agricoltura, industria e commercio, nel termine indicato all'articolo 5.". All'articolo 8 inoltre viene stabilito che: "è vietato di adoperare o collocare nelle acque reti od altri ordigni da pesca ad una distanza minore di 40 metri dalle scale di monta per i pesci, dai graticci e simili delle macchine idrauliche, dagli sbocchi dei canali, dalle cascate, dalle arcate dei ponti e dai molini natanti, a monte di questi. Il Presidente della Giunta Provinciale ha facoltà di ridurre la distanza stabilita nel comma precedente, in considerazione delle speciali contingenze dei luoghi."

L'articolo 10 del Regio Decreto n. 1604 del 8 ottobre 1931 "Approvazione del testo unico delle leggi sulla pesca" e s.m.i., stabilisce 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, etc.), in base agli elementi tecnici che saranno richiesti al Ministero dell'agricoltura e delle foreste. Con le stesse modalità possono anche essere ordinate modificazioni in opere preesistenti, e, qualora la costruzione di opere speciali per la pesca non sia possibile, potranno prescriversi al concessionario immissioni annuali di avannotti a sue spese."

Le suddette prescrizioni relative alla realizzazione di "scale di monta" sono state raramente applicate in passato mentre si è talora proceduto ad imporre al concessionario l'obbligo di semine annuali di avannotti. Con l'introduzione delle normative sulla VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) per le nuove derivazioni la realizzazione di tali dispositivi è invece divenuta una rilevante misura mitigativa usualmente considerata nell'ambito degli Studi di Impatto Ambientale, seppur in assenza di una consolidata base tecnico-scientifica di riferimento. Tale carenza ha di fatto portato alla realizzazione di numerosi manufatti palesemente inadeguati al ripristino della continuità fluviale principalmente a causa di un'errata progettazione.

A livello comunitario il principale riferimento è la Direttiva 2000/60/CE (del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque), nota come Direttiva Acque, recepita in Italia con il D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., che individua la continuità del fiume come elemento qualitativo idromorfologico per la classificazione dello stato ecologico dei corsi d'acqua superficiali.

In relazione a tale elemento lo stato di un fiume è elevato se "la continuità non è alterata da attività antropiche ed è possibile la migrazione indisturbata degli organismi acquatici e il trasporto del sedimento".

A livello regionale il riferimento base è invece costituito dalla Legge regionale 29 dicembre 2006, n. 37 "Norme per la gestione della fauna acquatica, degli ambienti acquatici e regolamentazione della pesca" che all'articolo 12 (Lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici) stabilisce che la costruzione di "idonee scale di risalita atte a favorire la libera circolazione dei pesci" è obbligatoria per:

- i progetti delle opere d'interesse pubblico o privato che prevedono l'occupazione totale o parziale degli alvei;
- le dighe, le briglie e gli sbarramenti in genere, già esistenti, quando la loro stabilità richiede opere di manutenzione straordinaria o ristrutturazione.

Nello stesso articolo viene disposto che i disciplinari delle concessioni di derivazioni d'acqua devono contenere specifiche disposizioni per la tutela della fauna acquatica prevedendo rilasci sufficienti a garantire, anche nei periodi di magra, la sopravvivenza e la risalita dell'ittiofauna.

L'articolo 20 infine stabilisce che "è vietato usare reti ad una distanza inferiore a trenta metri da scale di risalita per i pesci e dalle dighe."

E' comunque da segnalare a livello provinciale un'iniziativa della Provincia di Torino antecedente alla suddetta Legge Regionale che, con l'emanazione della D.G.P. n. 746-151363/2000 del 18 luglio 2000 ha prescritto l'obbligo della realizzazione di un passaggio per l'ittiofauna nei seguenti casi:

- interventi di manutenzione straordinaria di opere di sbarramento realizzate per fini di sistemazione idraulica (predisposizione del passaggio);
- realizzazione di nuove opere di sbarramento da realizzare per fini di sistemazione idraulica (progettazione contestuale del passaggio);
- interventi di manutenzione straordinaria di opere di sbarramento realizzate per captazioni e/o ritenzioni idriche per qualunque uso (predisposizione del passaggio);
- realizzazione di nuove opere di sbarramento da realizzare nell'ambito di richieste di nuove concessioni per derivazioni e/o ritenzioni idriche (progettazione contestuale del passaggio);
- domande di rinnovo e/o di sanatoria per concessioni di derivazioni e/o ritenzioni idriche (predisposizione del passaggio).

Gli articoli 2.3 e 2.4 recitano: "I pareri favorevoli da parte dell'Amministrazione Provinciale costituiscono una condizione necessaria per l'autorizzazione alla realizzazione o agli interventi di manutenzione di una qualsiasi opera di sbarramento su qualunque corso d'acqua, sia per la sistemazione idrogeologica, sia per captazioni e/o ritenzioni idriche per qualunque uso; nel caso di queste ultime diventa condizione necessaria per le concessioni di derivazione d'acqua. Per le concessioni di cui al precedente punto deve essere previsto, sul disciplinare, una clausola di impegno del concessionario, di non meno di 5 anni a partire dalla data di approvazione del disciplinare stesso, a predisporre varianti al dispositivo di risalita nei casi in cui i competenti Servizi della Provincia, con apposita relazione scritta da competente personale nel settore floro-faunistico e/o idrobiologico ed idraulico, dovessero riscontrare difetti nella funzionalità del passaggio. In qualsiasi caso il concessionario deve provvedere alla manutenzione dell'opera al fine di garantirne l'efficacia.". Il passaggio per l'ittiofauna viene definito come "un'opera utile a consentire a tutti i pesci (indipendentemente dalle specie, avannotti o adulti di qualsiasi dimensioni) il superamento di un qualunque sbarramento su un corso d'acqua che costituisca una interruzione della continuità longitudinale e quindi un ostacolo alle migrazioni, sia per fini trofici, sia per fini riproduttivi."

Il passaggio per l'ittiofauna deve essere reso "attraattivo" grazie al rilascio di una portata QPAI (portata per il Passaggio Artificiale dell'Ittiofauna) "che deve costituire il filone di corrente principale quando la portata che supera l'ostacolo è pari (o intorno) alla Q355".

Le formule per il calcolo di tale portata sono in funzione del valore di DMV, calcolato secondo i criteri regionali vigenti o successivi, secondo quanto riportato di seguito:

$$QPAI > 600 + 0,9 \times (DMV - 600)^{0,8} \text{ [l/s]} \text{ per } DMV > 600 \text{ l/s}$$

$$QPAI = DMV \text{ per } DMV < 600 \text{ l/s}$$

con QPAI sempre > 50 l/s

Il Regolamento regionale 17 luglio 2007, n. 8/R "Disposizioni per la prima attuazione delle norme in materia di deflusso minimo vitale (Legge regionale 29 dicembre 2000, n. 61)" nell'ambito della definizione delle modalità di adeguamento delle derivazioni per il rilascio del DMV, supera le precedenti disposizioni, fissando criteri base di riferimento per la progettazione dei passaggi per l'ittiofauna con indicazioni su portate di attrazione ed elementi da considerare nella progettazione di tali dispositivi.

L'articolo 12 stabilisce che "ove siano prescritte opere per la risalita dell'ittiofauna, il DMV o quota parte del medesimo è fatto defluire tramite le predette opere."

Nell'Allegato D, al punto E3, vengono stabiliti gli elementi base da considerare per la progettazione del passaggio che devono confluire in una specifica relazione tecnica:

- a) individuazione degli ambienti significativi a monte e valle dello sbarramento (tratti d'alveo nei quali i pesci risultino isolati e impossibilitati a effettuare percorsi migratori a causa della presenza di ostacoli naturali o artificiali al libero movimento della fauna ittica);
- b) caratterizzazione quali-quantitativa dell'ittiofauna del corso d'acqua e definizione dei comportamenti migratori e delle esigenze delle singole specie (le informazioni dovranno essere preferibilmente basate su campionamenti diretti dell'ittiofauna a monte ed a valle dello sbarramento);
- c) descrizione del campo di variazione delle portate e dei livelli idrici in alveo a monte ed a valle dello sbarramento durante i periodi di migrazione;
- d) descrizione dei criteri adottati nella definizione della portata di progetto, nella scelta della tipologia del dispositivo e nella relativa localizzazione (specificare portata minima, media e massima di funzionamento ed evidenziare le modalità di rilascio della portata ausiliaria nel caso di passaggio con portata defluente < DMV);
- e) descrizione del dispositivo corredata dei calcoli di dimensionamento e degli elaborati grafici (planimetria, sezioni quotate e prospetti, profilo complessivo) e specificazione del campo di operatività del passaggio in termini di portate e livelli idrici.

Un'ulteriore prescrizione di rilievo riguarda l'attrattività del passaggio in termini di portate defluenti a valle dello sbarramento: nei casi in cui sia prevista la realizzazione di un passaggio per l'ittiofauna attraverso il quale è fatta defluire unicamente una quota parte del DMV deve comunque essere salvaguardata l'attrattività del dispositivo nei confronti dell'ittiofauna. A tal fine si dovrà garantire che il filone principale della corrente defluente a valle dello sbarramento sia chiaramente identificabile da parte dell'ittiofauna ed indirizzi la risalita verso l'imbocco di valle del dispositivo comunque con modalità tali da non creare localmente condizioni idrodinamiche (velocità, turbolenza, etc.) che costituiscano ostacolo alla risalita dell'ittiofauna. In ogni caso il filone della corrente di attrazione così determinato (portata passaggio di risalita + portata ausiliaria) dovrà essere costituito da almeno il 50 % del DMV.

Successivamente, con D.G.R. n. 72–13725 del 29 marzo 2010 modificata con D.G.R. n. 75–2074 del 17 maggio 2011 la Regione Piemonte ha definito la “Disciplina delle modalità e procedure per la realizzazione di lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici ai sensi dell’art. 12 della legge regionale n. 37/2006.”, che costituisce il riferimento normativo più recente in materia.

L’articolo 8 è interamente dedicato ai “passaggi per la libera circolazione della fauna ittica” e ne stabilisce il campo di applicazione: “Nei corsi d’acqua naturali, i progetti di realizzazione e manutenzione straordinaria di opere di sistemazione idraulica, derivazione o sbarramento delle acque, devono consentire la libera circolazione della fauna ittica da monte verso valle e viceversa, attraverso la realizzazione di passaggi per pesci o l’adozione di soluzioni tecniche adeguate all’obiettivo della salvaguardia della fauna ittica e nel rispetto delle caratteristiche e della funzionalità tecnica delle opere e della sicurezza idraulica del sito. I relativi progetti devono esplicitare il rispetto dell’obiettivo della libera circolazione e della salvaguardia della fauna ittica”.

Sono ammesse deroghe nei seguenti casi:

- a) motivate ragioni inerenti la sicurezza idraulica;
- b) impossibilità tecnica di realizzare passaggi per l’altezza dello sbarramento;
- c) presenza di salti naturali ritenuti, in sede di autorizzazione, invalicabili per qualunque specie ittica e di qualunque taglia, posti entro 500 metri a valle o a monte dello sbarramento del corso d’acqua.

Tale obbligo non si applica inoltre nei canali artificiali, ad eccezione delle opere di presa, e ai bacini artificiali creati ai soli scopi irrigui.

L’autorizzazione di tali dispositivi compete all’“Autorità idraulica competente, sentiti gli Uffici Provinciali competenti in materia di tutela della fauna acquatica, per le valutazioni in ordine alla compatibilità degli stessi con la fauna acquatica”.

La D.G.R. dispone inoltre alcune importanti scadenze in relazione ai passaggi per l’ittiofauna:

Censimento sbarramenti: le Province, entro un anno, devono individuare e segnalare alla Regione - Direzione Agricoltura, le opere pubbliche e private esistenti che impediscono la libera circolazione della fauna ittica, nonché le opere trasversali dotate di passaggio per pesci.

Emanazione linee guida tecniche: la Giunta regionale, entro due anni, individua linee guida tecniche per la progettazione e il monitoraggio dei passaggi per la libera circolazione della fauna ittica; nel transitorio si applica quanto previsto dall’allegato D del Regolamento regionale 17 luglio 2007 n. 8/R.

Integrazione nel sistema informativo: la Regione gestisce e mantiene aggiornate nell’ambito del proprio sistema informativo, le informazioni puntuali, atte a descrivere le caratteristiche tecniche di tali dispositivi e la relativa funzionalità.

Verifica funzionalità passaggi esistenti: le Province attivano una verifica della funzionalità dei passaggi per pesci esistenti ubicati su corsi d'acqua che la Carta Ittica definisce di particolare interesse ittiofaunistico ed ambientale e prescrivono gli eventuali adeguamenti necessari.

3. L'ittiofauna del reticolo idrografico regionale

Il territorio italiano è suddiviso in distretti, aree e sub-aree omogenee sulla base di criteri fisiogeografici e zoogeografici, secondo lo schema riportato nel seguente schema grafico:

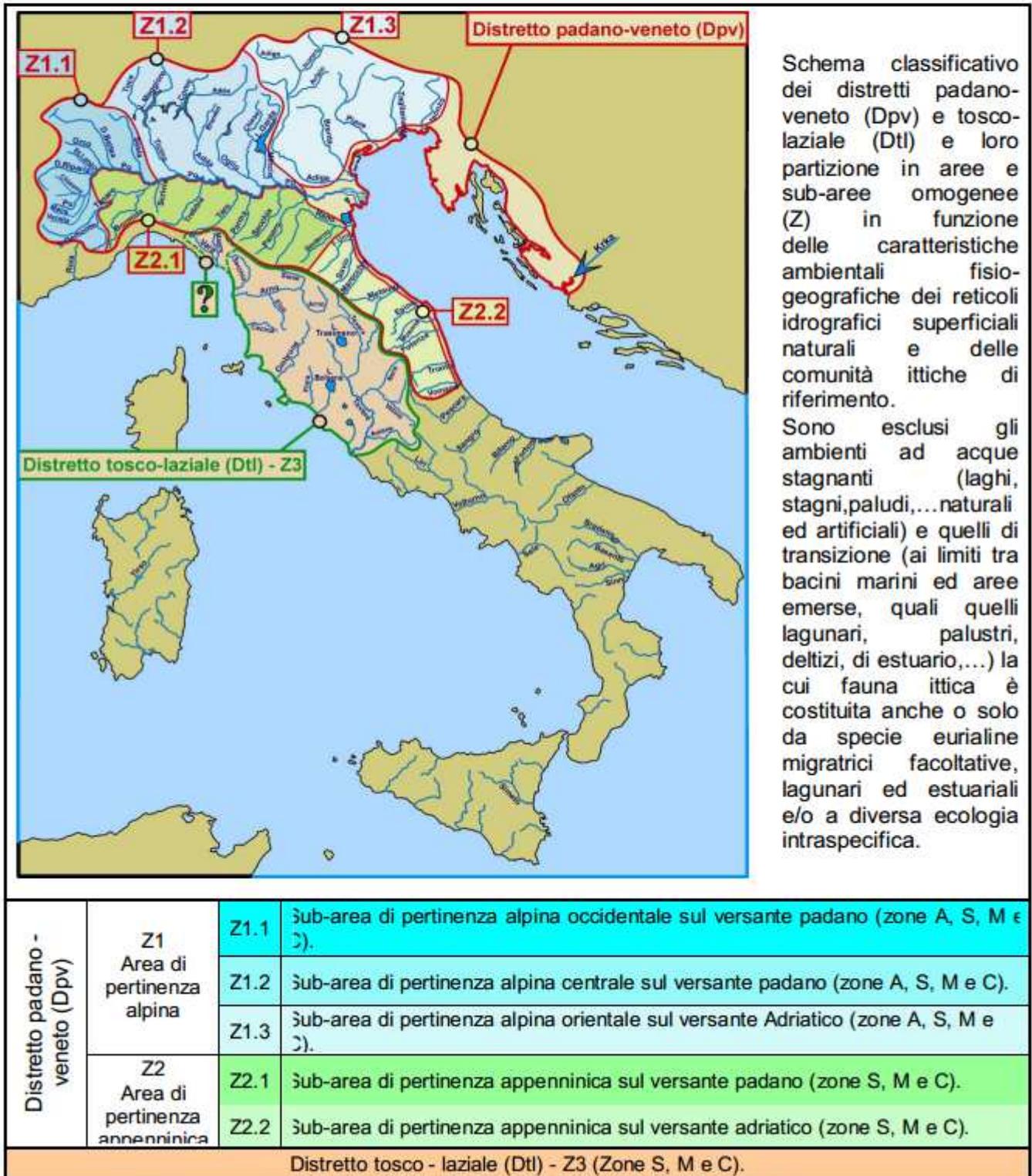


Figura 1. Velocità Distretti fisiogeografici e zoogeografici (da Forneris et al. 2007)

La porzione occidentale del bacino del Po, di cui la Regione Piemonte fa parte, è inserita nel Distretto padano – veneto, territorio relativamente ampio comprendente i tributari dell'alto e medio Adriatico: in Italia vi appartengono i corsi d'acqua dal Po fino all'Isonzo (Adige, Brenta, Piave, Tagliamento ed altri minori) per l'alto Adriatico, quelli dal Reno al Vomano (Savio, Marecchia, Metauro, Esino, Musone, Potenza, Tronto, etc.) per il medio Adriatico; al di fuori della penisola italiana sono compresi fiumi e torrenti dell'estrema porzione occidentale della Slovenia e la penisola istriana per l'alto Adriatico ed alcuni bacini della Croazia verso Sud fino al Krka per il medio Adriatico.

L'area in oggetto comprende l'intero bacino del Po nella fase di massima regressione marina in periodo glaciale, esteso fino al margine della fossa meso-adriatica (con limite meridionale costituito dal Vomano sulla sponda italiana e dal Krka su quella croata) secondo quanto risultato dallo studio di De Marchi delle isobate dell'alto e medio Adriatico con il quale si è ricostruito il corso dei fiumi sull'antica pianura padana.

La porzione italiana del Distretto padano - veneto viene così suddivisa:

Z1 (area di pertinenza alpina) - Fiume Po dalle origini fino alla sezione di confluenza con il Panaro (delta escluso), tributari di sinistra, tributari di destra dalle origini alla sezione di confluenza con il Ricchiardo (escluso). Fiume Tanaro a monte della sezione di confluenza con il Ridone (escluso) presso Alba (CN), suoi tributari di sinistra a monte di detta confluenza e suoi tributari di destra dalle origini al bacino del Rea (compreso). Intero reticolo idrografico del triveneto. La maggior parte dei bacini presentano, sulle testate, fasce altimetriche superiori al limite climatico dello zero termico medio annuo, talora anche superiori al limite climatico delle nevi persistenti, con conseguenti presenze di isole glaciali. Regimi pluviometrici con massimi nelle stagioni intermedie (primavera ed autunno) e quasi sempre con minimo principale invernale e secondario estivo; afflussi meteorici medi annui generalmente crescenti verso Est. La tipologia di regime idrologico prevalente è il nivopluviale, ma sono frequenti anche i regimi pluviali verso la pianura; nelle testate dei bacini più elevati risultano regimi nivoglaciali, talora verso valle fino alla pianura (es. Dora Baltea e Adige). La portata specifica di magra normale è superiore a 2 l/s/km^2 , anche molto più elevata, fino a superare 10 l/s/km^2 .

Z1.1 (sub-area di pertinenza alpina occidentale sul versante padano). Fiume Po dalle origini fino alla sezione di confluenza con lo Scrivia, tributari di destra dalle origini a monte della sezione di confluenza con il Ricchiardo (escluso). Fiume Tanaro a monte della sezione di confluenza con il Ridone (escluso) presso Alba (CN), suoi tributari di sinistra a monte di detta confluenza e suoi tributari di destra dalle origini al bacino del Rea (compreso). Regimi pluviometrici con massimi nelle stagioni intermedie, in buona parte con quello primaverile prevalente su quello autunnale o più o meno equivalenti nelle aree montane più elevate nella porzione occidentale, in Valle d'Aosta

e nel medio e alto bacino del Sesia; minimo invernale decisamente inferiore a quello secondario estivo.

Z1.2 (sub-area di pertinenza alpina centrale sul versante padano). Fiume Po dalla sezione di confluenza con lo Scrivia a quella di confluenza con il Panaro e tutti i bacini tributari di sinistra, prevalentemente in territorio lombardo. Regimi pluviometrici con massimi nelle stagioni intermedie, più o meno equivalenti o leggermente superiore quello autunnale. Nelle aree montane più elevate risulta una certa influenza del regime continentale, tipico dell'Europa centrale e con massimi di precipitazioni in estate; pertanto i regimi idrometrici, soprattutto quelli alimentati da bacini che si estendono più a Nord, presentano minimi secondari estivi leggermente più cospicui. Fascia pedemontana maggiormente estesa rispetto alle sub-aree adiacenti, con passaggi più gradualmente tra le zone ittiche. Presenza significativa, nella transizione tra fascia pedemontana e pianura, dei più importanti laghi terminali Sud-alpini (Maggiore, Como, Garda,...), capaci di esercitare un evidente volano idrologico dei principali fiumi della Lombardia (Ticino, Adda, Oglio, Mincio,...). Importante è la presenza di ambienti di risorgiva.

Z2 (area di pertinenza appenninica). Tributari di destra del fiume Po a valle della sezione di confluenza con il Ricchiardo (incluso) fino alla confluenza con il bacino del Panaro (incluso). Fiume Tanaro a valle della sezione di confluenza con il Ridone (incluso) presso Alba (CN), suoi tributari di sinistra a valle di detta confluenza e suoi tributari di destra a valle del bacino del Rea (escluso). Dal bacino del Reno (tributario dell'Adriatico a Sud del Po) compresi i suoi affluenti di destra (Idice, Sillaro, Santerno, Senio, etc.) verso Sud fino a quello del Vomano (compreso) nella porzione meridionale della Provincia di Teramo (Marche).

Z2.1 (area di pertinenza appenninica sul versante padano). Tributari di destra del fiume Po a valle della sezione di confluenza con il Ricchiardo (incluso) fino alla confluenza con il bacino del Panaro (incluso). Fiume Tanaro a valle della sezione di confluenza con il Ridone (incluso) presso Alba (CN), suoi tributari di sinistra a valle di detta confluenza e suoi tributari di destra a valle del bacino del Rea (escluso). Bacino del Reno (tributario dell'alto Adriatico a Sud del Po) compresi i suoi affluenti di destra (Idice, Sillaro, Santerno, Senio, etc.). Lo spartiacque appenninico tosco-emiliano segna il confine che separa la Z2 a Nord dal distretto tosco-laziale a Sud. Gli apici allineati su tale spartiacque presentano altitudini decrescenti verso Est, da quote superiori a 2.200 m a valori intorno ai 1.500 m s.l.m. Regimi pluviometrici con massimi nelle stagioni intermedie, più o meno equivalenti o con leggera prevalenza primaverile o autunnale; minimo estivo ridotto rispetto a quello secondario invernale (al contrario di quanto accade in Z1). I regimi idrologici sono tipicamente di tipo pluviale. La coincidenza tra i minimi pluviometrici principali con i massimi dei regimi termici determina portate di magra estiva piuttosto pronunciate, con valori specifici inferiori a

2 l/s/km² e, seppure raramente, anche inferiori a 1,5 l/s/km². Nelle testate dei bacini principali, presso i culmini dello spartiacque appenninico, possono risultare regimi idrologici nivopluviali (o di transizione con il pluviale), con portate di magra (quasi sempre estive, raramente anche invernali) significativamente superiori, ma con valori specifici che non superano i 5 l/s/km². I regimi idrologici presentano una variabilità (rapporto tra i valori medi mensili massimo e minimo dei deflussi) più spiccata rispetto a quella in Z1. I litotipi di origine sedimentaria sono ben rappresentati; ciò comporta, in occasione di precipitazioni intense, un più facile intorbidimento delle acque (trasporto solido pelitico) rispetto a quanto accade in Z1 (dominata da più estese formazioni cristalline, prevalentemente metamorfiche).

La Direttiva 2000/60/CE prevede che gli Stati membri individuino i corpi idrici superficiali ed effettuino di tutti una caratterizzazione iniziale attraverso un metodo a scelta tra due sistemi "A" oppure "B" (punto 1.2.1. dell'Allegato II). Il primo prevede alcuni parametri descrittivi "obbligatori" in funzione dell'altitudine, delle dimensioni del bacino idrografico e della composizione geologica. Il sistema "B", più complesso ed articolato e forse più adatto per il territorio italiano, prevede due gruppi di fattori che, per i fiumi, sono i seguenti:

Fattori obbligatori: altitudine, latitudine e longitudine, composizione litologica e dimensioni.

Fattori opzionali: distanza dalla sorgente del fiume, energia di flusso, larghezza, profondità e pendenza media del corpo idrico, forma e configurazione dell'alveo principale, categoria in funzione della portata del fiume (flusso), configurazione della valle, trasporto di solidi, capacità di neutralizzazione degli acidi, composizione media del sub-strato, cloruro, intervallo delle temperature dell'aria, temperatura media dell'aria e precipitazioni.

In base a tali criteri Forneris et al. (2007) hanno individuato le seguenti tipologie (Tp): **Alpina (A)**, **Salmonicola (S)**, **Mista (M)** e **Ciprinicola (C)**.

Esse, limitatamente al territorio piemontese, sono nel seguito descritte.

A (zona alpina - temperature massime estive < 10 °C). Corsi d'acqua dell'area di pertinenza alpina (Z1) sulle testate dei principali bacini, generalmente con superfici dei bacini sottesi inferiori a 100 km² o affluenti dei corsi d'acqua delle principali vallate alpine. Il regime idrologico è nivoglaciale o nivopluviale (a seconda delle estensioni delle fasce altimetriche prossime o superiori al limite climatico delle nevi persistenti), in qualche raro caso anche pluviale. La portata di magra normale è invernale, con valori specifici raramente inferiori a 4 l/s/km². Torrenti di alta montagna e porzioni superiori e mediane degli affluenti dei corpi idrici principali delle maggiori vallate alpine, caratterizzati da elevate pendenze (10 + 20 %, ma anche superiori al 30 %), con granulometria degli alvei costituita da ghiaia grossolana, massi e roccia in posto, con netta prevalenza dell'erosione sui processi sedimentari. Possono appartenere a questa categoria torrenti della

fascia prealpina o di alta collina, con altitudine massima del bacino sotteso compresa tra i limiti climatici dello zero termico medio di gennaio (600 m s.l.m.) e dello zero termico medio del trimestre invernale (1.700 m s.l.m.), su versanti acclivi e con elevata copertura vegetale in grado di garantire una buona ombreggiatura che limita il riscaldamento estivo delle acque. I valori medi annui assoluti delle portate idriche sono limitate, per le ridotte dimensioni dei bacini sottesi, a $2 + 3 \text{ m}^3/\text{s}$ e con portate di magra intorno a poche centinaia di l/s, ma anche decisamente minori. Le portate sono ridotte a qualche l/s per i più piccoli torrenti, alimentati da versanti collinari e pedemontani caratterizzati da minori potenzialità idriche che, nelle fasi di magra più pronunciata, garantiscono appena la presenza dell'acqua. Ambienti in condizioni limiti per la sopravvivenza di fauna acquatica: acque naturalmente torbide e molto fredde anche in estate per i torrenti alimentati dai nevai e dai ghiacci, pendenze talora molto elevate costituenti ambiti invalicabili per gli spostamenti longitudinali dei pesci, forti variazioni di portata. La comunità ittica naturale (attesa) è povera di specie o costituita da salmonidi accompagnati dallo scazzone; oppure assente, anche in mancanza di alterazioni, soprattutto nei più piccoli torrenti alle più elevate altitudini, fortemente limitati dalle condizioni climatiche o in corsi d'acqua minori caratterizzati da notevoli pendenze e da salti invalicabili per i pesci; in tali situazioni la presenza di comunità ittiche potrebbe essere conseguenza di immissioni. In qualche caso potrebbero risultare presenti, con popolazioni esigue, altre specie di accompagnamento (es. vairone), spesso in ambienti di dubbia classificazione in zona A.

S (zona salmonicola - temperature massime estive $10 + 15 \text{ }^\circ\text{C}$). Corsi d'acqua dell'area di pertinenza alpina (Z1) generalmente con superfici dei bacini sottesi superiori a 100 km^2 , costituenti i corpi idrici principali delle porzioni mediana e terminale delle vallate alpine fino anche allo sbocco in pianura e dei tratti terminali dei loro più importanti affluenti. Il regime idrologico è nivoglaciale o nivopluviale o di transizione con quello pluviale, quasi mai francamente pluviale. La portata di magra normale è invernale, con valori specifici raramente inferiori a 4 l/s/km^2 . Alvei con pendenza nell'intervallo $5 + 15 \%$ (anche fino al 25%), ma difficilmente sono riscontrabili salti invalicabili per l'ittiofauna. La granulometria prevalente è grossolana, accompagnata da massi, più raramente con roccia in posto, mentre compaiono alcuni banchi di ghiaia fine. I bacini sottesi presentano una buona porzione di fasce altimetriche elevate, con climi rigidi; i processi evapotraspirativi sono modesti e ciò, unitamente all'incremento delle precipitazioni, che solitamente caratterizza le zone montuose, comporta maggiori potenzialità idriche. Pertanto si hanno buone portate, con valori medi annui che comunque difficilmente superano i $20 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre le portate di magra raramente scendono sotto i 300 l/s . Nella maggior parte dei casi sono i tratti fluviali posti a valle delle zone alpine (A), ma l'individuazione dell'ambito di passaggio tra le due zone può risultare poco agevole. Solitamente la zona S sottende bacini con fasce altimetriche superiori al limite climatico dello zero termico medio del trimestre invernale (1.700 m s.l.m.). Se queste sono poco estese (ma almeno

costituenti il 25 % circa del bacino) il limite superiore della S, in assenza di salti naturali invalicabili per l'ittiofauna, potrebbe estendersi anche ad altitudini significativamente superiori a 1.000 m, relegando decisamente la zona A alle aree prossime alle sorgenti. Con ampie superfici superiori al limite climatico dello zero termico medio annuo (2.700 m s.l.m.) e soprattutto quando l'altitudine massima del bacino è superiore al limite climatico delle nevi persistenti (3.100 m s.l.m.), il limite della zona S potrebbe scendere di alcune centinaia di metri. Tale fenomeno risulta evidente nei corsi d'acqua con regime nivoglaciale (es. bacini della Dora Baltea, Alto Sesia, Toce). Sono ambienti generalmente più produttivi e con una fauna ittica più diversificata rispetto alla precedente tipologia.

Corsi d'acqua dell'area di pertinenza appenninica (Z2) sulle testate dei principali bacini, generalmente con superfici dei bacini sottesi inferiori a 100 km², con regime idrologico di transizione tra il pluviale ed il nivopluviale, assai raramente di tipo francamente nivopluviale quando le altitudini massime sono prossime al limite climatico dello zero termico medio del trimestre invernale (1.700 m s.l.m.). Possono costituire ambienti classificabili in zona S, seppure caratterizzati da regimi idrologici francamente pluviali, anche i tratti fluviali immediatamente a valle di alcuni dei suddetti corpi idrici principali, quindi con superfici dei bacini sottesi superiori a 100 km² (compresi i loro affluenti), quando impostati su versanti acclivi e ben ombreggiati per la buona copertura forestale, comunque generalmente a quote superiori al limite dello zero termico medio di gennaio (600 m s.l.m.), raramente fino a 400 + 500 m s.l.m.. Nei corsi d'acqua principali gli alvei sono interessati prevalentemente da erosione, con pendenze intorno al 5 + 10 %, con dominanza di ghiaia grossolana e media, accompagnata da massi e talora da roccia in posto. Gli affluenti hanno pendenze più accentuate (fino al 10 + 20 %), esercitano una forte erosione ed hanno alvei caratterizzati da materiale grossolano, fino a frequenti massi e roccia in posto. Le portate medie annue raramente superano i 2 + 3 m³/s, con minime annue invernali di poche decine di l/s in corrispondenza dei tratti spiccatamente montani e minime annue estive verso valle di poco superiori e caratterizzate da contributi di 2 + 3 l/s/km². Sono ambienti con forti limiti ambientali, quali un'ampia variabilità del regime idrologico e scarse potenzialità idriche dei bacini sottesi in fase di magra. Ciò comporta una scarsa diversificazione biologica in termini di composizione in specie. La comunità ittica può risultare anche assente, soprattutto nei più piccoli torrenti alle più elevate altitudini, caratterizzati da notevoli pendenze e da salti invalicabili; in tali situazioni la presenza di comunità ittiche potrebbe essere conseguenza di immissioni, soprattutto con trote fario.

M (zona mista - temperature massime estive 15 + 20 °C). Corsi d'acqua dell'area di pertinenza alpina (Z1) generalmente con superfici dei bacini imbriferi sottesi superiori a 300 + 400 km², costituenti i corpi idrici principali significativamente a valle dello sbocco delle vallate alpine in pianura. Il regime idrologico è nivopluviale, raramente nivoglaciale o di transizione con quello pluviale, quasi mai francamente pluviale. Portata di magra normale invernale, con valori specifici

raramente inferiori a 4 l/s/km^2 . Alvei con pendenze mediamente nell'intervallo $3 + 6 \%$, con assenza di salti naturali invalicabili per l'ittiofauna. Granulometria prevalente costituita da ghiaia, soprattutto media ed in minor parte grossolana, da rari massi, e roccia in posto assente, insieme a vasti banchi di ghiaia fine e di sabbia; rare le granulometrie più fini. I bacini sottesi, analogamente alle zone S, presentano una significativa porzione di fasce altimetriche elevate, caratterizzate da buone potenzialità idriche. Tenuto conto della maggiore estensione dei bacini si hanno portate relativamente elevate, con valori medi annui che possono superare i $20 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre quelli assoluti di magra raramente scendono sotto i 1.000 l/s . Nella maggior parte dei casi sono tratti fluviali a valle delle zone salmonicole. Nei bacini meno estesi e con altitudini massime inferiori al limite climatico dello zero termico medio annuo ed in assenza di regimi idrologici di tipo nivoglaciale in testata, la tipologia superiore è generalmente una zona S ed il passaggio alla zona mista si colloca, grosso modo, nella fascia pedemontana ($200 + 500 \text{ m s.l.m.}$), comunque sotto il limite climatico delle zero termico medio di gennaio (600 m s.l.m.). Nei bacini più estesi e con altitudini massime superiori al limite dello zero termico medio annuo (2.700 m s.l.m.) ed ancor più in quelli con altitudine massima superiore al limite climatico delle nevi persistenti (3.100 m s.l.m.) e con regimi idrologici nivoglaciali almeno in testata, sono superiormente presenti entrambe le zone A ed S. Le elevate portate e l'origine in quota di buona parte dei deflussi comporta temperature più basse e maggiore turbolenza delle acque anche verso valle; pertanto il passaggio alla zona mista si sposta verso l'alta pianura, talora anche sotto i 200 m s.l.m. In taluni casi (es. Dora Baltea) le fasce altimetriche poste sopra del limite di 3.100 m s.l.m. sono molto estese ed il regime si mantiene con una tipologia nivoglaciale anche in pianura, tanto che la zona mista risulta molto "compressa" verso valle, anche fino a risultare assente. Possono costituire ambienti "M" anche i corsi d'acqua con bacini interamente o in buona parte, impostati in fasce altimetriche inferiori al limite climatico dello zero termico medio mensile di gennaio (600 m s.l.m.), con regime idrologico pluviale non classificabili in "S" per condizioni evidentemente adatte ai ciprinidi reofili e nei quali l'eventuale presenza di salmonidi è sostenuta da immissioni, oppure di risalita dal corpo idrico recettore.

Corsi d'acqua dell'area di pertinenza appenninica (Z2) nelle medie vallate dei principali bacini, generalmente in ambienti posti sotto il limite dello zero termico medio di gennaio (600 m s.l.m.) e con regime idrologico francamente pluviale, ma con portata specifica di magra normale estiva pari o superiore a 2 l/s/km^2 . Nei bacini con apprezzabili estensioni areali delle fasce altimetriche prossime al limite climatico dello zero termico medio del trimestre invernale (1.700 m s.l.m.) il passaggio dalla zona "S" alla zona "M" può risultare inferiore al limite succitato, fino anche a $300 + 500 \text{ m s.l.m.}$ Nelle porzioni superiori dei bacini con fasce altimetriche elevate meno estese, ma con altitudine massima almeno superiore al limite climatico dello zero termico di gennaio (600 m s.l.m.), risulta assente la zona "S" e la classificazione in zona "M" può interessare tutto il reticolo idrografico. Le portate medie annue sono variabili in funzione dell'estensione dei bacini sottesi,

caratterizzate da valori specifici relativamente elevati per l'abbondanza delle precipitazioni tardo autunnali ed invernali. Il regime pluviometrico presenta uno spiccato minimo estivo; mancano i contributi dei serbatoi nivali che viceversa caratterizzano i bacini alpini impostati su fasce altimetriche ben più elevate. Di conseguenza il minimo idrologico è estivo, ma con portate specifiche di magra normale raramente inferiori a 2 l/s/km^2 . Tale situazione idrologica consente comunque deflussi estivi sufficienti ed il mantenimento di condizioni idrauliche idonee ad organismi reofili. Le pendenze rimangono relativamente elevate, intorno a $2 + 5 \%$ (talora anche leggermente inferiori) e si hanno alternanze di situazioni di erosione e di depositi insieme ad una accentuata diversificazione dei materiali litoidi; si possono rinvenire brevi tratti con fondali profondi con roccia in posto, zone con ghiaie talora grossolane e addirittura con massi ed altre zone dominate da materiali con granulometrie decisamente più fini, fino alla sabbia, ma raramente pelitici.

C (zona ciprinicola - temperature massime estive $> 20 \text{ }^\circ\text{C}$). Corsi d'acqua dell'area di pertinenza alpina (Z1) con superfici dei bacini imbriferi molto variabili, talora costituenti i tratti terminali e di limitata lunghezza dei principali tributari del Po ed a valle delle zone "S" e soprattutto "M". Possono anche costituire tratti fluviali molto più estesi quando alimentati da bacini di grandi dimensioni che, pur presentando fasce altimetriche elevate, quindi caratterizzati superiormente da regimi nivopluviali o addirittura nivoglaciali in testata, sono anche costituiti da ampie superfici sotto il limite climatico dello zero termico medio di gennaio (600 m s.l.m.); sono tipici esempi i fiumi Po e Sesia. In altri casi costituiscono quasi l'intero reticolo idrografico dei bacini collinari e/o impostati su fasce altimetriche tipicamente di pianura. Il regime idrologico è tipicamente pluviale, in qualche raro caso di transizione con il nivopluviale. Per questa tipologia ambientale la portata di magra normale è estiva, con valori specifici comunque non inferiori a 2 l/s/km^2 . Alvei caratterizzati da pendenze inferiori al 2% , con assenza di salti naturali invalicabili per l'ittiofauna. La granulometria prevalente è costituita da ghiaia (soprattutto fine/media quando presente) e da vasti banchi di sabbia e/o di peliti. Sono ambienti generalmente caratterizzati da una elevata produttività e da una fauna ittica ben diversificata.

Corsi d'acqua dell'area di pertinenza appenninica (Z2) nelle aree di pianura, solitamente a quote inferiori a 200 m s.l.m. , a valle delle zone "M" quando alimentati da bacini con estese fasce altimetriche superiori al limite climatico dello zero termico medio di gennaio (600 m s.l.m.) o con altitudini massime prossime al limite climatico dello zero termico medio del trimestre invernale (1.700 m s.l.m.). I reticoli idrografici alimentati da bacini con altitudini massime inferiori a quello dello zero termico di gennaio sono, quasi sempre, interamente classificabili nella zona "C". Anche per questi ambienti le portate medie annue sono assai variabili in funzione delle estensioni dei bacini sottesi, ma ciò che più interessa è il regime medio, caratterizzato da forti magre estive, con valori specifici anche significativamente inferiori a 2 l/s/km^2 , spesso su ampi letti fluviali dominati da materiali prevalentemente pelitici, con qualche banco di sabbia e qualche ghiareto, per la modesta

pendenza (< 1 %). I più piccoli corsi d'acqua di origine collinare presentano granulometrie dei fondali più grossolane e pendenze più accentuate, ma la magra estiva rimane il maggiore fattore limitante, accentuato dalle minori superfici dei bacini sottesi.

In sintesi il territorio piemontese è suddiviso in tre sub-aree, ciascuna caratterizzata dalle diverse tipologie come illustrato nella seguente tabella:

		Tipologie (Tp)			
		Alpina (A)	Salmonicola (S)	Mista (M)	Ciprinicola (C)
Sub-aree	Z1.1	X	X	X	X
	Z1.2	X	X	X	X
	Z2.1		X	X	X

Le specie originarie piemontesi sono gran parte di quelle caratteristiche del Distretto padano-veneto e sono elencate nella tabella seguente (nomenclatura secondo Gandolfi et al., 1991).

Sono complessivamente 30 taxa autoctoni ed endemici, appartenenti a 9 famiglie: 13 specie appartengono alla fam. Cyprinidae, tre alla fam. Acipenseridae, due alle fam. Salmonidae, Cobitidae e Clupeidae, una alle fam. Anguillidae, Esocidae, Gadidae, Gasterosteidae, Cottidae, Percidae, Blenniidae e Gobiidae.

Ordine	Famiglia	Genere specie sottospecie	nome volgare
Acipenseriformes	Acipenseridae	<i>Acipenser sturio</i>	storione comune
		<i>Acipenser naccarii</i>	storione cobice
		<i>Huso huso</i>	storione ladano
Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	anguilla
Clupeiformes	Clupeidae	<i>Alosa fallax lacustris</i>	agone
		<i>Alosa fallax nilotica</i>	cheppia
Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Rutilus pigus</i>	pigo
		<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	triotto
		<i>Leuciscus cephalus</i>	cavedano
		<i>Leuciscus souffia</i>	vairone
		<i>Phoxinus phoxinus</i>	sanguinerola
		<i>Tinca tinca</i>	tinca
		<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	scardola
		<i>Alburnus alburnus alborella</i>	alborella
		<i>Chondrostoma coetta</i>	savetta
		<i>Chondrostoma genei</i>	lasca
		<i>Gobio gobio</i>	gobione
	<i>Barbus plebejus</i>	barbo	
	<i>Barbus meridionalis</i>	barbo canino	
	Cobitidae	<i>Cobitis taenia</i>	cobite comune
		<i>Sabanejewia larvata</i>	cobite mascherato
Salmoniformes	Esocidae	<i>Esox lucius</i>	luccio
	Salmonidae	<i>Salmo [trutta] marmoratus</i>	trota marmorata
		<i>Thymallus thymallus</i>	temolo
Gadiformes	Gadidae	<i>Lota lota</i>	bottatrice
Gasterosteiformes	Gasterosteidae	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	spinarello
Scorpaeniformes	Cottidae	<i>Cottus gobio</i>	scazzone
Perciformes	Percidae	<i>Perca fluviatilis</i>	persico reale
	Blenniidae	<i>Salaria fluviatilis</i>	cagnetta
	Gobiidae	<i>Padogobius martensi</i>	ghiozzo padano

La diffusione originaria di queste specie non contemplava tutto il territorio regionale; alcune specie, quali ad esempio la cagnetta, erano relegate alla porzione orientale del territorio, a nord del Po. Gli

Acipenseridi colonizzavano l'asta principale del Po ed i tratti terminali dei principali affluenti, così come la cheppia. La tabella seguente riporta la presunta distribuzione originaria della fauna ittica in funzione delle tipologie per la fauna ittica descritte in precedenza. Per le diverse tipologie alpina "A", salmonicola "S", mista "M" e ciprinicola "C" delle sub-aree Z1.1, Z1.2 e Z2.1, caratteristiche del reticolo idrografico della porzione occidentale del bacino del Po vengono distinte quelle sicuramente presenti (X), quelle assenti (-) e quelle incerte o presenti in una tipologia ambientale non idonea (0). Le specie particolarmente significative ai fini della determinazione delle comunità ittiche di riferimento (AUr; sotto-insieme delle AU) sono evidenziate con celle colorate in verde.

Genere specie sottospecie	Nome volgare	Z1.1				Z1.2				Z2.1			
		A	S	M	C	A	S	M	C	S	M	C	
<i>Acipenser naccarii</i>	storione cobice	0	0	0	X	0	0	0	X	0	0	X	
<i>Acipenser sturio</i>	storione comune	0	0	0	X	0	0	0	X	0	0	X	
<i>Huso huso</i>	storione ladano	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	X	
<i>Anguilla anguilla</i>	anguilla	0	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	
<i>Alosa fallax</i>	agone/cheppia/alosa	0	0	0	X	0	0	X	X	0	0	X	
<i>Alburnus alburnus alborella</i>	alborella	0	0	X	X	0	0	X	X	0	X	X	
<i>Barbus meridionalis</i>	barbo canino	0	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	
<i>Barbus plebejus</i>	barbo	0	X	X	X	0	X	X	X	0	X	X	
<i>Chondrostoma genei</i>	lasca	0	X	X	X	0	X	X	X	0	X	X	
<i>Chondrostoma soetta</i>	savetta	0	X	X	X	0	X	X	X	0	0	X	
<i>Gobio gobio</i>	gobione	0	X	X	X	0	X	X	X	0	X	X	
<i>Leuciscus cephalus</i>	cavedano	0	X	X	X	0	X	X	X	0	X	X	
<i>Leuciscus souffia</i>	vairone	0	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	
<i>Phoxinus phoxinus</i>	sanguinerola	0	X	X	X	0	X	X	X	0	X	X	
<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	triotto	0	0	X	X	0	0	X	X	0	X	X	
<i>Rutilus pigus</i>	pigo	0	X	X	X	0	X	X	X	0	0	X	
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	scardola	0	0	X	X	0	0	X	X	0	X	X	
<i>Tinca tinca</i>	tinca	0	0	X	X	0	0	X	X	0	X	X	
<i>Cobitis taenia bilineata</i>	cobite	0	0	X	X	0	0	X	X	0	X	X	
<i>Sabanejewia larvata</i>	cobite mascherato	0	0	X	X	0	0	X	X	0	0	X	
<i>Lota lota</i>	bottatrice	-	-	0	0	0	0	X	X	-	-	-	
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	spinarello	-	-	-	-	0	X	X	X	0	0	X	
<i>Salaria fluviatilis</i>	cagnetta	-	-	-	-	0	X	X	X	0	0	0	
<i>Orsinigobius punctatissimus</i>	panzarolo	-	-	-	-	0	X	X	X	0	0	0	
<i>Padogobius martensii</i>	ghiozzo padano	0	0	X	X	0	0	X	X	0	X	X	
<i>Perca fluviatilis</i>	persico reale	0	0	X	X	0	0	X	X	0	0	X	
<i>Esox lucius</i>	luccio	0	X	X	X	0	X	X	X	0	X	X	
<i>Salmo [trutta] marmoratus</i>	trota marmorata (*)	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	
<i>Salvelinus alpinus</i>	salmerino alpino	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	
<i>Thymallus thymallus</i>	temolo	0	X	X	X	0	X	X	X	-	-	-	
<i>Cottus gobio</i>	scazzone	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	-	

(*) comprende gli ibridi.

Questa situazione distributiva originaria ha visto una progressiva e repentina modificazione, a seguito della scomparsa di alcune specie e della comparsa di forme alloctone, che hanno progressivamente sostituito in alcuni ambienti quelle native.

Va precisato come questa modificazione sia stata di natura antropica: da una parte sono scomparsi o stati resi di fatto irraggiungibili ambienti favorevoli all'ecologia di alcuni taxa particolarmente sensibili, dall'altra sono stati introdotti, più o meno scientemente, pesci esotici, quasi sempre per fini alieutici.

L'evoluzione della fauna ittica piemontese è documentata e descritta attraverso la lettura di tre importanti documenti redatti nell'arco degli ultimi vent'anni: la Carta Ittica Relativa al Territorio della

Regione Piemontese (Regione Piemonte, 1991; campionamenti nel biennio 1988-89), ed il Monitoraggio della fauna ittica in Piemonte (Regione Piemonte, 2006, campionamenti nel 2004; Regione Piemonte, 2011, campionamenti nel 2009).

Questi studi descrivono la situazione ittiofaunistica piemontese su tutto il reticolo idrografico regionale, su un numero di stazioni sufficientemente rappresentative, alcune delle quali mantenute inalterate come ubicazione sul territorio e quindi utili per la verifica dell'evoluzione della comunità ittica. Tutti i campionamenti per la redazione dei sopra citati documenti sono stati condotti con elettropesca, da parte di un pool di ittiologi che in alcune realtà territoriali hanno partecipato a tutte e tre le campagne di monitoraggio.

Nel 1988-89 le specie presenti sul territorio regionale sono 34; 23 di queste sono specie autoctone e tipiche della porzione più occidentale del Distretto padano-veneto, 11 specie sono alloctone: carassio, carpa, carpa erbivora, carpa testa grossa appartenenti alla fam. Cyprinidae, persico sole e persico trota (fam. Centrarchidae), trota iridea, trota fario e salmerino di fonte (fam. Salmonidae), pesce gatto (fam. Ictaluridae) e siluro (fam. Siluridae). Tra i taxa caratteristici non vengono campionati i tre storioni, i due clupeidi cheppia ed agone, la bottatrice e lo spinarello. Complessivamente le specie autoctone costituiscono il 68% delle specie censite a livello regionale sulle stazioni considerate. Il dato è relativo a 287 siti di campionamento.

Nel 2004 le specie presenti sul territorio regionale sono 42; 25 di queste sono specie autoctone e tipiche della porzione più occidentale del Distretto padano-veneto, 17 specie sono alloctone: aspigo, barbo europeo, carassio, carpa, gardon, pseudorasbora, rodeo amaro appartenenti alla fam. Cyprinidae, misgurno (fam. Cobitidae), gambusia (fam. Poeciliidae) persico sole e persico trota (fam. Centrarchidae), lucioperca (fam. Percidae), trota iridea, trota fario e salmerino di fonte (fam. Salmonidae), pesce gatto (fam. Ictaluridae) e siluro (fam. Siluridae). Tra i taxa caratteristici non vengono campionati i tre storioni ed i due clupeidi. Complessivamente le specie autoctone costituiscono il 60% delle specie censite a livello regionale sulle stazioni considerate. Il dato è relativo a 201 siti di campionamento.

Nel 2009 le specie presenti sul territorio regionale sono 40; 23 di queste sono specie autoctone e tipiche della porzione più occidentale del Distretto padano-veneto, 17 specie sono alloctone. Sono confermati i risultati del 2004, rispetto ai quali non vengono rinvenuti il cobite mascherato ed il pigo tra i taxa autoctoni. Complessivamente le specie autoctone costituiscono il 58% delle specie censite a livello regionale sulle stazioni considerate. Il dato è relativo a 428 siti di campionamento. E' interessante osservare come varia la frequenza percentuale (F) delle singole specie nell'ambito della triplice tornata di campionamenti su tutte le stazioni censite (in rosso i taxa alloctoni):

Famiglia	Genere specie sottospecie	nome volgare	1988/89	2004	2009
			F%	F%	F%
Acipenseridae	<i>Acipenser sturio</i>	storione comune	0	0	0
	<i>Acipenser naccarii</i>	storione cobice	0	0	0
	<i>Huso huso</i>	storione ladano	0	0	0
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	anguilla	23	5,5	0,9
Clupeidae	<i>Alosa fallax lacustris</i>	agone	0	0	0
	<i>Alosa fallax nilotica</i>	cheppia	0	0	0
Cyprinidae	<i>Alburnus alburnus alborella</i>	alborella	28,6	45,8	35,3
	<i>Aspius aspius</i>	aspio	0	0,5	1,6
	<i>Barbus barbus</i>	barbo europeo	0	13,4	18,9
	<i>Barbus plebejus</i>	barbo	41,8	54,7	43,7
	<i>Barbus meridionalis</i>	barbo canino	23	23,4	18,9
	<i>Carassius sp.</i>	carassio/pesce rosso	14,6	23,4	11,4
	<i>Chondrostoma genei</i>	lasca	32,1	31,3	20,1
	<i>Chondrostoma soetta</i>	savetta	4,5	3,5	1,6
	<i>Cyprinus carpio</i>	carpa	16,7	20,9	13,1
	<i>Ctenopharingodon idellus</i>	carpa erbivora	0,3	0	0
	<i>Gobio gobio</i>	gobione	22,3	50,2	42,3
	<i>Hyphophthalmichthys nobilis</i>	carpa testa grossa	0,3	0	0
	<i>Leuciscus cephalus</i>	cavedano	48,4	70,6	52,8
<i>Leuciscus souffia</i>	vairone	52,3	69,2	57,9	

	<i>Phoxinus phoxinus</i>	sanguinerola	26,1	21,9	29
	<i>Pseudorasbora parva</i>	pseudorasbora	0	33,3	25,5
	<i>Rhodeus sericeus</i>	rodeo amaro	0	16,4	13,3
	<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	triotto	12,9	22,4	11,7
	<i>Rutilus pigus</i>	pigo	1,7	0,03	0
	<i>Rutilus rutilus</i>	gardon	0	2	1,6
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	scardola	11,1	11,9	5,6
	<i>Tinca tinca</i>	tinca	18,1	10	2,8
Cobitidae	<i>Cobitis taenia</i>	cobite comune	34,8	44,3	34,6
	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	misgurno	0	0,5	1,2
	<i>Sabanejewia larvata</i>	cobite mascherato	3,1	0,5	0
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	luccio	10,5	9	2,3
Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	trota iridea	13,9	5	6,3
	<i>Salmo [trutta] marmoratus</i>	trota marmorata	34,8	33,3	29,4
	<i>Salmo [trutta] trutta</i>	trota fario	66,6	38,3	53,7
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	salmerino di fonte	0,7	0,5	1,6
Gadidae	<i>Lota lota</i>	bottatrice	0	2,5	0,9
Gasterosteidae	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	spinarello	0	0,5	0,5
Blenniidae	<i>Salaria fluviatilis</i>	cagnetta	1	2,5	0,9
Percidae	<i>Perca fluviatilis</i>	persico reale	18,5	10,9	4,9
	<i>Stizostedion lucioperca</i>	lucio/perca	0	1	1,4
Gobiidae	<i>Padogobius martensii</i>	ghiozzo padano	33,1	51,7	43,2
Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	persico sole	5,9	21,9	9,3
	<i>Micrpterus salmoides</i>	persico trota	4,5	3	1,6
Thymallidae	<i>Thymallus thymallus</i>	temolo	10,8	7	3
Cottidae	<i>Cottus gobio</i>	scazzone	32,4	18,9	23,8
Poeciliidae	<i>Gambusia holbrooki</i>	gambusia	0	0,5	0,5
Ictaluridae	<i>Ictalurus sp.</i>	pesce gatto	16,4	5	3
Siluridae	<i>Silurus glanis</i>	siluro	0,7	8,5	9,3

La stessa elaborazione, relativa alle 125 stazioni comuni alle tre campagne di monitoraggio, è riportata nella seguente tabella:

Famiglia	Genere specie sottospecie	nome volgare	1988/89	2004	2009
			F%	F%	F%
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	anguilla	33,6	4,8	2,4
Cyprinidae	<i>Alburnus alburnus alborella</i>	alborella	35,2	47,2	45,6
	<i>Aspius aspius</i>	aspio	0	0,8	0,8
	<i>Barbus barbus</i>	barbo europeo	0	10,4	8,8
	<i>Barbus plebejus</i>	barbo	54,4	58,4	57,6
	<i>Barbus meridionalis</i>	barbo canino	24	28	25,6
	<i>Carassius sp.</i>	carassio/pesce rosso	18,4	24	15,2
	<i>Chondrostoma genei</i>	lasca	40	32	27,2
	<i>Chondrostoma soetta</i>	savetta	5,6	4,8	1,6
	<i>Cyprinus carpio</i>	carpa	20	21,6	14,4
	<i>Gobio gobio</i>	gobione	26,4	54,4	55,2
	<i>Leuciscus cephalus</i>	cavedano	63,2	72,8	68,8
	<i>Leuciscus souffia</i>	vairone	65,6	75,2	68,8
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	sanguinerola	38,4	24,8	42,4
	<i>Pseudorasbora parva</i>	pseudorasbora	0	27,2	31,2
	<i>Rhodeus sericeus</i>	rodeo amaro	0	11,2	16,8
	<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	triotto	15,2	24	11,2
	<i>Rutilus pigus</i>	pigo	1,6	3,2	0
<i>Rutilus rutilus</i>	gardon	0	2,4	1,6	

	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	scardola	12,8	12,8	6,4
	<i>Tinca tinca</i>	tinca	23,2	8,8	4,8
Cobitidae	<i>Cobitis taenia</i>	cobite comune	47,2	47,2	44,8
	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	misgurno	0	0	1,6
	<i>Sabanejewia larvata</i>	cobite mascherato	1,6	0,8	0
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	luccio	13,6	11,2	2,4
Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	trota iridea	6,4	4,8	7,2
	<i>Salmo [trutta] marmoratus</i>	trota marmorata	34,4	38,4	31,2
	<i>Salmo [trutta] trutta</i>	trota fario	60,8	40	48
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	salmerino di fonte	0,8	0,8	0,8
Gadidae	<i>Lota lota</i>	bottatrice	0	3,2	2,4
Gasterosteidae	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	spinarello	0	0,8	0,8
Blenniidae	<i>Salaria fluviatilis</i>	cagnetta	2,4	3,2	3,2
Percidae	<i>Perca fluviatilis</i>	persico reale	24	9,6	7,2
	<i>Stizostedion lucioperca</i>	lucio/perca	0	1,6	1,6
Gobiidae	<i>Padogobius martensii</i>	ghiozzo padano	41,6	55,2	54,4
Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	persico sole	24	24,8	12
	<i>Micrpterus salmoides</i>	persico trota	4,8	3	1,6
Thymallidae	<i>Thymallus thymallus</i>	temolo	9,6	8	4,8
Cottidae	<i>Cottus gobio</i>	scazone	32	20	21,6
Ictaluridae	<i>Ictalurus sp.</i>	pesce gatto	18,4	7,2	4
Siluridae	<i>Silurus glanis</i>	siluro	0	6,4	11,2
Totale specie autoctone			23 (74%)	24 (62%)	24 (60%)
Totale specie alloctone			8 (26%)	15 (38%)	16 (40%)
Totale specie			31	39	40

Dagli esiti dei campionamenti, espressi graficamente nelle due tabelle sopra rappresentate, emerge un quadro ed un trend ittiofaunistico preoccupante, alla luce soprattutto dell'incremento di taxa non nativi, alcuni dei quali in netta espansione. Di contro si rileva la perdita di importanti specie endemiche, quali il pigo ed il cobite mascherato, non rinvenute nel corso dei monitoraggi

del 2009, e la bassa frequenza di campionamento di altrettanto importanti specie un tempo diffuse quali anguilla, savetta, luccio e temolo.

4. Migrazioni dell'ittiofauna

L'ittiofauna ha una stretta dipendenza dalle caratteristiche dei diversi habitat presenti lungo un corso d'acqua, e durante il proprio ciclo vitale si sposta per trovare ambienti che ne supportino la crescita, la sopravvivenza e la riproduzione.

L'esigenza di tali spostamenti e la relativa entità permette di classificare le diverse specie ittiche in potamodrome e diadrome.

Le specie potamodrome sono quelle il cui ciclo vitale è completamente svolto in acqua dolce; per alcune di esse le zone che presentano caratteristiche idonee alle diverse fasi possono essere molto distanti, ma comunque reperibili nell'ambito del medesimo bacino idrografico. Trota e barbo sono tra le specie potamodrome caratterizzate dal comportamento migratorio più marcato.

Le specie diadrome sono invece quelle il cui ciclo vitale si divide tra acqua dolce ed acqua salata e possono essere ulteriormente classificate in specie anadrome, quali la cheppia, la lampreda di mare, lo storione, per le quali gli adulti si riproducono in acqua dolce, mentre gli stadi giovanili ritornano verso il mare per la crescita, ed in specie catadrome, l'anguilla, che compie il percorso opposto.

Le migrazioni possono avere diverse finalità. Le migrazioni a fini riproduttivi sono finalizzate a raggiungere habitat idonei alla frega ed allo sviluppo degli stadi giovanili ed hanno usualmente una precisa stagionalità nel corso dell'anno. Le migrazioni a fini trofici vedono l'ittiofauna compiere spostamenti regolari (giornalieri) per la ricerca di cibo. Le migrazioni per svernamento sono finalizzate invece a trovare zone più profonde ed a bassa velocità in cui trovare rifugio per superare le condizioni più critiche dell'anno. Altri tipi di migrazioni/spostamenti riguardano lo svallamento dei giovani delle specie potamodrome e catadrome, e gli spostamenti in cerca di zone rifugio nel caso di piene o predazione di avifauna ittiofaga.

Sostanzialmente tutte le specie ittiche compiono spostamenti di varia entità durante l'intero arco dell'anno, e pertanto è opportuno che il ripristino della continuità di un corso d'acqua mediante la realizzazione di un passaggio per pesci sia **fruibile da tutte le specie e durante l'intero anno**. Sicuramente la maggiore efficacia dovrà essere raggiunta nei periodi in cui è atteso il picco delle migrazioni a fini riproduttivi, elemento fondamentale per garantire un'adeguata variabilità genetica dell'intera popolazione ittica lungo il corso d'acqua.

Un importante riferimento per il dimensionamento dei passaggi per pesci è la valutazione delle capacità natatorie dell'ittiofauna presa in esame, in modo da definire i massimi valori di velocità ammissibili lungo il dispositivo. A tale proposito possono essere impiegate le formulazioni generali proposte da Videler (1993) sulla base di risultati sperimentali che correlano alla lunghezza dell'esemplare di riferimento la velocità massima sostenibile e la velocità massima di crociera

(massima velocità alla quale il pesce può nuotare in modo continuo senza mostrare segni di fatica):

$$V_{max}=0,4+7,4 \cdot L \text{ [m/s]}$$

$$V_{cr}=0,15+2,4 \cdot L \text{ [m/s]}$$

in cui L è la lunghezza del pesce in metri.

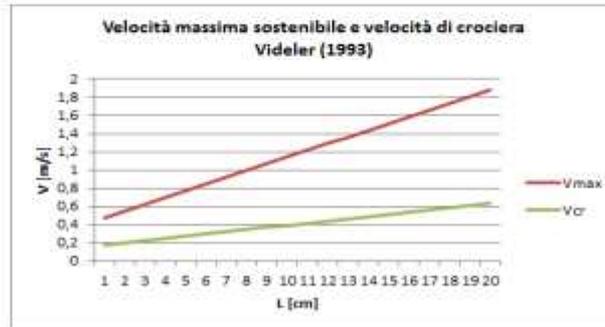


Figura 2. Velocità massima sostenibile e velocità di crociera (Videler, 1993)

Classiche formulazioni proposte da Beach (1984) e riprese da Larinier (2002) per i Salmonidi mettono in relazione la velocità massima con lunghezza del pesce e temperatura dell'acqua, definendo al contempo la durata (endurance) del nuoto alla massima velocità, e sono riportate nelle figure seguenti.

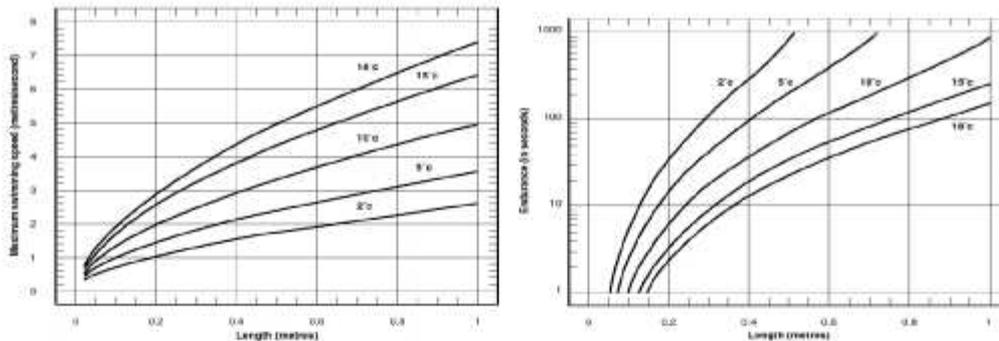


Figura 3. Velocità massima e durata (da Larinier et al. 2002, modificato)

Il grafico seguente evidenzia la distanza massima percorribile dal pesce ad una data velocità dell'acqua, a diverse temperature, per Salmonidi di lunghezza pari a 0,25 e 0,35 m.

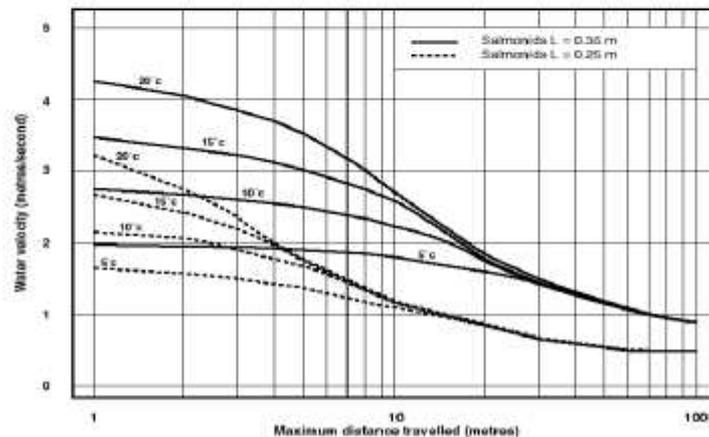


Figura 4. Distanza massima percorribile per diverse velocità dell'acqua (da Larinier et al. 2002, modificato)

Un recente studio (2004) condotto dall'Environment Agency del Regno Unito su alcune specie ittiche non appartenenti al genere dei Salmonidi ha apportato nuove informazioni sperimentali di dettaglio che contemplano anche l'influenza della temperatura sulle capacità natatorie (prima nota solo per i Salmonidi), evidenziando capacità natatorie anche superiori rispetto a quanto valutabile mediante le formulazioni di Videler. Facendo riferimento al barbo (*Barbus barbus*), per lunghezze tra 10 e 15 cm e superiori a 15 cm, la velocità massima di crociera mantenuta per alcuni minuti nel range di temperatura 5-10°C è compresa tra circa 0,60 e 0,70 m/s, mentre nel range 10-15°C il pesce mostra prestazioni migliori, comprese tra circa 0,70 e 0,75 m/s, come evidenziato dai seguenti grafici.

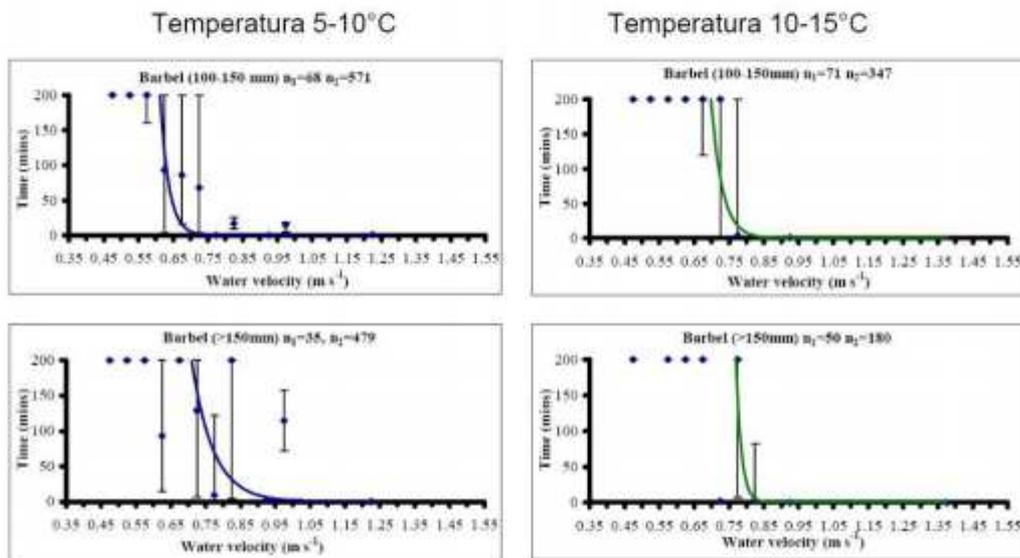


Figura 5. Velocità massime per il barbo a differenti temperature (da UK Environment Agency, 2004, modificato)

Per quanto alla velocità massima o velocità di scatto (burst speed) si hanno valori generalmente prossimi ai 2 m/s, come si evince dal seguente grafico.

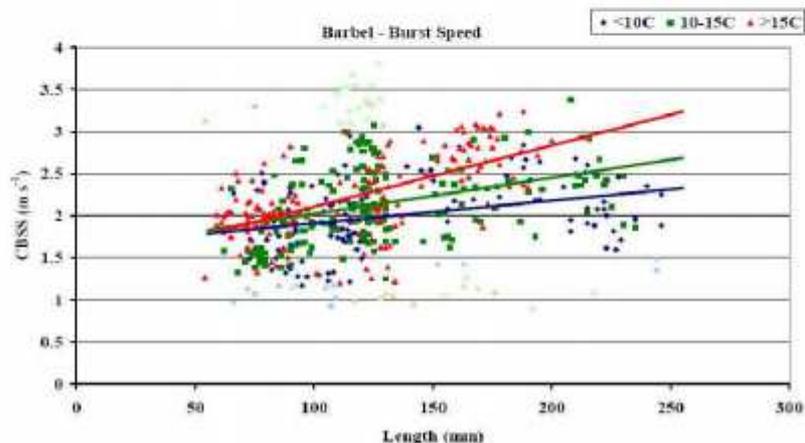


Figura 6. Velocità di scatto per il barbo (da UK Environment Agency, 2004, modificato)

Viste le numerose variabili che influenzano la capacità natatoria dell'ittiofauna ed il fatto che il passaggio deve necessariamente essere idoneo alla risalita di tutte le specie è opportuno adottare valori cautelativi della velocità massima ammissibile all'interno di un passaggio per pesci; **la velocità massima dovrà manifestarsi esclusivamente in tratti molto brevi del dispositivo** (ad esempio fenditure o stramazzi rigurgitati tra due bacini successivi; sono da evitare stramazzi non rigurgitati - "plunging flow") e dovranno essere disponibili zone intermedie in cui il pesce può riprendersi dallo sforzo connesso al superamento di tali punti critici per poi riprendere la risalita (zone di calma, a limitata turbolenza ed adeguata profondità). E' sempre preferibile realizzare passaggi di tipo naturalistico della tipologia canale by-pass, realizzati imitando un piccolo ramo laterale del corso d'acqua che by-passa lo sbarramento, in quanto in tali dispositivi si realizzano velocità più contenute e percorsi a bassa velocità fruibili dalle specie meno prestanti.

Ove sia necessario realizzare passaggi di tipo tecnico a bacini successivi, minore è il dislivello tra un bacino ed il successivo (D_h), più agevole sarà la risalita dell'ittiofauna.

Un dislivello D_h pari a 20 cm va assunto come valore di riferimento massimo, in quanto determina puntualmente un valore massimo della velocità dell'acqua pari ad 1,98 m/s.

D_h minori sono preferibili nei tratti pedemontani e di pianura in cui si hanno popolamenti polispecifici con specie limnofile.

Nei tratti montani in cui la popolazione sia costituita esclusivamente da Salmonidi possono essere ammissibili D_h sino a 25 cm ($V_{max}=2,21$ m/s). Tale valore va però attentamente verificato per valutarne la compatibilità per esemplari presenti (che possono avere taglie limitate) e non può generalmente essere applicato nel caso di presenza dello scazzone o di altre specie minori.

In ogni caso la scelta di valori di D_h superiori a 20 cm andrà adeguatamente supportata con specifica relazione ittologica che, sulla base della popolazione ittica presente, rilevata mediante campionamenti diretti, dimostri l'accettabilità di tali valori a fronte delle capacità natatorie della/e specie presenti; tali impianti dovranno altresì essere oggetto di specifico monitoraggio di dettaglio per verificarne la reale efficacia nei confronti degli esemplari meno performanti.

Qualsiasi sia il valore di D_h , si sottolinea nuovamente che il passaggio tra un bacino ed il successivo dovrà essere parzialmente rigurgitato creando un filone di deflusso continuo ed andrà accuratamente evitato il formarsi di stramazzi a vena libera: il pesce dovrà infatti essere messo in grado di nuotare nel passaggio tra bacini evitando la necessità di compiere salti ("leaping activity"). Va inoltre garantito nei passaggi di tipo tecnico a bacini successivi che l'acqua non defluisca al di sopra dei setti che dividono bacini contigui in quanto tale condizione determinerebbe eccessivi valori di turbolenza che potrebbero impedire la risalita.

Tra le specie italiane e, in particolare tra quelle appartenenti al bacino padano veneto, molte sono quelle potenzialmente interessate dal problema della presenza di sbarramenti insormontabili.

Anguilla anguilla è l'unica rappresentante della fam. Anguillidae presente in Italia ed è l'unica specie catadroma, le cui esigenze di spostamento prevedono obbligatoriamente una fase di risalita degli stadi giovanili ed una di discesa, degli individui adulti. Queste due fasi si collocano nei periodi primaverili per quanto riguarda la risalita dal mare ai corsi d'acqua e tardo estivo per la ridiscesa in mare degli stadi adulti. In Piemonte l'anguilla è teoricamente ubiquitaria, ma allo stato attuale, a causa di importanti sbarramenti sul Po che ne limitano la diffusione verso occidente, è considerabile come sporadica.

Tra i Ciprinidi, le specie che mostrano una più spiccata attitudine a spostamenti di una certa entità appartengono ai gen. *Barbus*, *Chondrostoma* e *Rutilus*. Barbi, lasche, savette e pighi sono pesci pelagici, di branco, che colonizzano i tratti medio inferiore dei principali corsi d'acqua padani, per risalire gli affluenti, talora anche di modesta portata, a fini soprattutto riproduttivi. Il periodo di maggior spostamento coincide con i mesi primaverili di maggio e giugno, talora anticipato al mese di aprile in occasione di primavere particolarmente calde.

In Piemonte la distribuzione del barbo è tuttora consistente, anche se nei grandi fiumi *Barbus plebejus* è insidiato dalla presenza della specie europea *Barbus barbus*, di origine transalpina, che tende a soppiantarlo nei tratti potamali a granulometria più fine. E' diffuso sia sul versante alpino padano, sia su quello appenninico. La lasca, la cui distribuzione un tempo era sovrapponibile a quella del barbo, è in forte regressione a livello regionale e, in generale su tutto l'areale di distribuzione originario. Forse, più ancora del barbo, questa specie ha risentito della frammentazione e della generale alterazione dei corpi idrici, incapace o meno capace di formare popolazioni localizzate e segregate a livello di singoli bacini o di tratti di corsi d'acqua. Il suo areale comprende sia il versante alpino padano, sia quello appenninico.

La savetta, un tempo molto diffusa sulle aste principali dei principali fiumi regionali (Po, Ticino, Sesia) ha oggi una distribuzione assai limitata e frammentata (1,6% complessiva), per ragioni non dissimili da quelle che hanno determinato la rarefazione della lasca. Rispetto a questa, però, risulta più in difficoltà partendo da una condizione distributiva di partenza meno ampia e privilegiata. Il suo areale comprende soprattutto il versante alpino padano.

Il pigo come la savetta colonizzava le aste principali dei principali fiumi regionali, dove, allo stato attuale, risulta assente, mentre segnalazioni di sporadiche catture arrivano ancora dal lago Maggiore. Il suo areale originario comprende soprattutto il versante alpino padano.

Altri pesci con evidenti attitudini migratorie sono specie frigofile appartenenti alla fam. Salmonidae e Thymallidae. Trota marmorata e temolo sono pesci in grado di compiere spostamenti di una

certa consistenza, il primo per fini soprattutto riproduttivi, il secondo per esigenze ecologiche più complesse non strettamente legate alla riproduzione.

Il periodo di massimo spostamento per la trota marmorata coincide con il periodo pre-riproduttivo ed i mesi di ottobre-novembre, quando maschi e femmine risalgono i corsi d'acqua alla ricerca di zone con granulometria idonea per l'ovideposizione. Anche nel caso di *Salmo marmoratus* l'interruzione dei corsi d'acqua con briglie e soglie sembra aver determinato una contrazione delle popolazioni, seppur meno importante rispetto a quella rilevata per alcune delle specie più sopra citate, per impossibilità di raggiungimento delle zone idonee per la riproduzione e per isolamento genetico delle popolazioni residue. In alcune zone caratterizzate da livelli idrici ridotti ed incrementi di temperatura estiva sono noti spostamenti nei periodi caldi alla ricerca di zone con affioramenti acqua di subalveo od in corrispondenza di confluenze che apportano acqua più fresca. A livello piemontese la specie è ancora diffusa su tutto l'areale di distribuzione originario, ma popolazioni di una certa consistenza sono sempre più rare. Il suo areale comprende esclusivamente il versante alpino padano, fino al bacino del Tanaro (corso principale ed affluenti di sinistra).

Per quanto riguarda il temolo i periodi di massima dispersione sono meno facilmente individuabili. Al di là di un periodo primaverile (mesi di marzo, aprile) in cui i riproduttori tendono a concentrarsi ed a portarsi verso le zone di deposizione dei corsi d'acqua alpini caratterizzate da granulometria medio-fine, sono noti fenomeni di migrazione "random" determinati da altri fattori ambientali, probabilmente legati a questioni trofiche o ad alterazioni chimico-fisiche stagionali od indotte dall'uomo. Il temolo, analogamente a savetta e pigo, è una delle specie che più ha visto ridursi l'areale di distribuzione a livello piemontese, per fenomeni legati all'alterazione ed alla frammentazione degli habitat. Il suo areale comprende esclusivamente il versante alpino padano, fino al bacino del Tanaro (corso principale ed affluenti di sinistra).

Altre specie compiono spostamenti, seppur di entità inferiore rispetto a quelli effettuati dalle specie sopra citate. Il luccio, ad esempio, necessita per la riproduzione di zone caratterizzate da vegetazione acquatica, indispensabile per lo sviluppo delle uova. Il vairone tende a spostarsi nei mesi di marzo ed aprile, prima della riproduzione, ed a risalire tratti dei corsi d'acqua dove vive normalmente. Entrambe le specie hanno distribuzione originaria alpina ed appenninica. Il secondo taxon è oggi la specie più diffusa a livello regionale.

Un'importante specie mai censita nei campionamenti pregressi, presente nel Po fino allo sbarramento di Piacenza ed un tempo comune nel tratto piemontese del fiume e dei suoi principali affluenti è la cheppia.

Questo clupeide anadromo compie ingenti spostamenti dal mare Adriatico fino alle acque interne per la riproduzione, che avviene nei mesi primaverili. Qualora dovesse essere eliminato l'elemento

di discontinuità dato dallo sbarramento di Isola Serafini è molto probabile che la specie si spingerebbe molto all'interno del reticolo idrografico piemontese. Analogo discorso vale per gli storioni. Oggi sono considerati estinti nel bacino del Po lo storione ladano e lo storione comune, mentre sono segnalate sporadiche catture di *Acipenser naccarii*, oggetto in un recente passato di tentativi di reintroduzione nel medio Po. In caso di rimozione o mitigazione dell'ostacolo di Piacenza, la costruzione di opere di interruzione longitudinale nel Po alessandrino e vercellese, nel Ticino, nel basso Sesia e Tanaro dovrebbe prevedere strutture per la risalita dell'ittiofauna idonee per il passaggio di questa specie.

In base a quanto sopra esposto circa le comunità ittiche rinvenute nei corpi idrici regionali ed a quelle potenzialmente presenti, in funzione delle caratteristiche dei principali taxa soggetti a migrazioni e delle comunità di riferimento a livello delle aree e subaree identificate a livello regionale, viene fornita una rosa di specie di cui è riconosciuta l'origine autoctona certa, che possono essere assunte quali "**specie target**" per la realizzazione di passaggi.

Rimanendo in ogni caso fermo il concetto che il passaggio per pesci deve risultare fruibile da tutte le specie e durante l'intero anno, di seguito si riportano le principali informazioni di interesse inerenti le specie maggiormente necessitanti di tali interventi mitigativi, indicandone la distribuzione territoriale ed i principali periodi critici per la relativa migrazione. L'indicazione di tali periodi costituisce principalmente un riferimento minimo in merito all'**arco temporale in cui sicuramente andrà garantita la massima funzionalità del passaggio ed in cui andrà prevista l'effettuazione di puntuali attività di monitoraggio dell'efficacia del dispositivo**.

Nelle **subaree 1.1 e 1.2** (Sub-area di pertinenza alpina occidentale e centrale sul versante padano) specie target per le zone alpine (A) e salmonicola (S) è la trota marmorata. Anche dove la specie non risulta presente, per fenomeni naturali o per scomparsa a seguito di interventi antropici, essa può essere utilizzata per la scelta dei valori dei parametri della struttura ai fini progettuali ed esecutivi. *Salmo marmoratus* è l'unico salmonide sicuramente autoctono a livello regionale ed è la specie, insieme al temolo, che meglio rappresenta le zone montane inferiori e pedemontane dei corsi d'acqua alpini. Le sue capacità natatorie sono assimilabili a quelle della trota fario, salmonide introdotto, in coabitazione con *Salmo marmoratus* od unica specie nei tratti superiori di gran parte dei corsi d'acqua alpini. In queste zone, una particolare attenzione va inoltre rivolta alle popolazioni di *Cottus gobio*; dove è riscontrata la presenza dello scazzone, le strutture per la risalita devono adottare accorgimenti (ad es. orifici sommersi e limitati Dh nel caso di passaggi a bacini successivi) per il passaggio di questa specie bentonica che generalmente compie spostamenti di ridotta entità. Nelle zone S sono altresì presenti, oltre al temolo, barbo canino e vairone.

Il periodo critico di riferimento relativo ai Salmonidi nelle zone A ed S va comunque prevalentemente riferito alla trota marmorata e consiste nei mesi di ottobre, novembre e dicembre. Nelle zone S va altresì considerato il periodo marzo, aprile e maggio per la tutela delle ulteriori specie presenti; nel caso del barbo andrà inoltre considerato il mese di giugno. Nelle zone miste (M) vairone, barbo canino e barbo comune possono essere assunte come specie "target". Sono tre specie importanti, protette a livello comunitario così come trota marmorata e scazzone, anch'esse da considerare in tali zone. Barbo canino e vairone compiono spostamenti di breve entità, ma ripetuti nell'arco dell'anno, mentre il barbo comune ne effettua di più ampi, ma più localizzati nel tempo. Circa le attitudini natatorie è il vairone il pesce più penalizzato, essendo di taglia sensibilmente inferiore e compiendo migrazioni riproduttive primaverili anticipate rispetto a *Barbus* sp. Per il principio di precauzione più sopra esposto in queste zone è quindi opportuno progettare la struttura per il passaggio del vairone, tra le tre la specie meno performante dal punto di vista natatorio. Il periodo critico di riferimento sono i mesi di marzo, aprile e maggio per i ciprinidi, ottobre e novembre per la trota marmorata.

Nelle zone ciprinicole (C) ancora il barbo, e la lasca, sono i due taxa "bersaglio" ai fini di una corretta progettazione e realizzazione dei passaggi per pesci. La savetta può essere considerata come specie target per le zone C in Z1.2. Sono i ciprinidi più "mobili" e sono tra quelli ancora più rappresentati a livello regionale (fa eccezione la savetta). Anche in questo caso è preferibile optare per la specie più piccola, la lasca, quale specie guida, in quanto meno performante di *Barbus plebejus*, con popolazioni più frammentate e meno consistenti numericamente. Anch'essa, come tutte le specie sopra citate, è oggetto di particolari attenzioni a livello comunitario. Va inoltre fatto riferimento anche alla presenza del vairone, anch'essa specie di ridotte dimensioni e con limitate capacità natatorie. Il periodo critico di riferimento in queste zone sono i mesi di aprile, maggio e giugno.

Nella **subarea 2.1** (Sub-area di pertinenza appenninica sul versante padano), nelle zone salmonicola (S) e mista (M) specie target è il vairone. Anche in sua assenza ed in sola presenza di popolazioni introdotte di salmonidi (trota fario e/o trota iridea), questo ciprinide va considerato come taxon guida per la corretta realizzazione di un passaggio per pesci. Il periodo critico di riferimento sono i mesi di marzo, aprile e maggio.

Nella sottostante zona ciprinicola i passaggi per l'ittiofauna, analogamente a quanto avviene nelle zone ciprinicole delle subaree 1.1 ed 1.2., vanno tarati sulle caratteristiche natatorie ed ecologiche di barbo comune, lasca e vairone. Il periodo critico di riferimento sono i mesi di aprile, maggio e giugno.

Di seguito si riportano in forma tabellare le suddette informazioni al fine di poter chiaramente visualizzare i periodi critici di interesse per le diverse subaree e zone in base ai quali va garantita la massima funzionalità del passaggio (fermo restando che dovrà essere assicurato un corretto

funzionamento lungo tutto l'anno), nonché l'effettuazione di specifici monitoraggi per verificarne l'efficacia nel ripristino della continuità.

Periodo critico per la migrazione delle specie target														
Sub-aree	Tipologie (Tp)	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Specie target
Z1.1 Pertinenza alpina occidentale sul versante padano	Alpina (A)													trota marmorata, scazzone
	Salmonicola (S)													trota marmorata, scazzone, temolo, barbo canino, vairone
	Mista (M)													trota marmorata, vairone, barbo canino, barbo comune
	Ciprinicola (C)													barbo comune, lasca, vairone
Z1.2 Pertinenza alpina centrale sul versante padano	Alpina (A)													trota marmorata, scazzone
	Salmonicola (S)													trota marmorata, scazzone, temolo, barbo canino, vairone
	Mista (M)													trota marmorata, vairone, barbo canino, barbo comune
	Ciprinicola (C)													barbo comune, lasca, savetta, vairone
Z2.1 Pertinenza appenninica sul versante padano	Salmonicola (S)													vairone
	Mista (M)													vairone
	Ciprinicola (C)													barbo comune, lasca, vairone

5. Passaggi per pesci: principi generali

I passaggi per pesci, conosciuti anche, con terminologia non corretta, come “scale di risalita”, “scale per pesci”, oppure “scale di monta” sono opere di ingegneria idraulica finalizzate a consentire il passaggio dell’ittiofauna attraverso ostacoli artificiali insormontabili. Si tratta di dispositivi che permettono al pesce il superamento di un dislivello tramite successivi passaggi in bacini, tratti con scarsa pendenza, rallentamento dei flussi d’acqua con sistemi a deflettori, realizzazione di rapide artificiali, di canali artificiali, di impianti di sollevamento meccanici (ascensori) o idraulici (chiuse).

Con il termine sbarramento o ostacolo alla migrazione si intendono tutti i manufatti trasversali che possono impedire, anche solo in particolari condizioni idrologiche, gli spostamenti longitudinali dell’ittiofauna, e comprende (elenco non esaustivo): dighe e traverse di derivazione, accumuli di materiale sciolto per derivazione irrigua (filarole, etc.), manufatti di stabilizzazione del fondo alveo (soglie di fondo, briglie) e per la protezione degli attraversamenti di infrastrutture lineari (soglie di protezione di pile di ponti, soglie per attraversamento in alveo di oleodotti, etc.).

I passaggi per pesci sono da intendersi esclusivamente come **misure mitigative** nei confronti dell’interruzione della continuità fluviale, in quanto l’impatto sulle migrazioni ittiche dovuto ad uno sbarramento lungo un corso d’acqua può essere annullato esclusivamente attraverso la **rimozione dell’ostacolo**, soluzione che va comunque sempre presa in considerazione come opzione ottimale. Ovviamente questa azione radicale (rimozione del manufatto) può essere attuata ove lo sbarramento non sia più utilizzato (ad es. concessioni decadute, manufatti obsoleti danneggiati da piene, etc.) o non abbia più utilità (ad es. soglie di fondo a servizio di infrastrutture non più utilizzate).

In generale la progettazione di un passaggio per l’ittiofauna prevede un **approccio multidisciplinare** poiché vi concorrono conoscenze di tipo biologico (ittologia ed ecologia delle specie di interesse) e di tipo ingegneristico con particolare riferimento all’idraulica fluviale ed ambientale ed alle tecniche di costruzione.

La corretta progettazione dei passaggi per pesci deve quindi prevedere un gruppo di lavoro costituito almeno da un laureato in biologia o scienze naturali o affini con comprovate competenze specifiche in ittologia ed ecologia fluviale e da un ingegnere civile-ambientale con competenze specifiche in idraulica fluviale e progettazione di infrastrutture idrauliche.

La scelta della tipologia di passaggio da utilizzare, della portata da assegnarvi e della localizzazione presso l'ostacolo sono da considerarsi assolutamente **sito-specifiche**. In altri termini, non è possibile proporre una soluzione univoca applicabile in più contesti in quanto ogni sito è spesso caratterizzato da condizioni al contorno (altezza dell'ostacolo, condizioni idrologiche, disponibilità di spazi, altre infrastrutture, etc.) che lo rendono unico e necessitante di una specifica progettazione ad hoc.

In generale è però possibile presentare una **macro-classificazione** raggruppando le principali tipologie di passaggio, che viene riportata di seguito con una sintetica descrizione delle principali caratteristiche tecniche ed operative, nonché alcune indicazioni su uso e limiti di applicabilità.

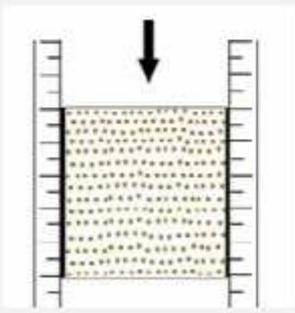
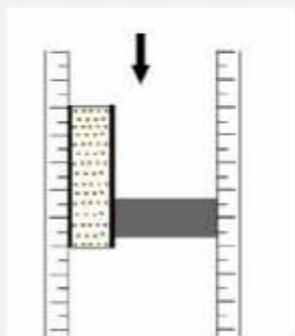
Questa classificazione e la relativa nomenclatura è il riferimento riconosciuto in ambito internazionale formalizzato dalla FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) – EIFAAC (European Inland Fisheries and Aquaculture Advisory Commission) "Working Party for Fish Passage Best Practices", già ripreso in Italia dalla Regione Toscana (Pini Prato, 2009).

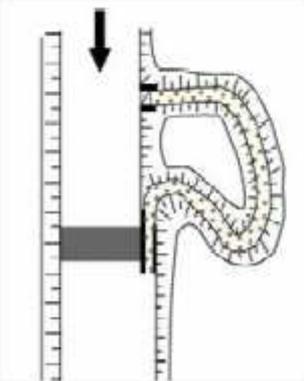
- ✓ **Passaggi naturalistici (close to nature fishpasses):** gruppo di passaggi artificiali il cui aspetto imita le caratteristiche naturali del corso d'acqua sostituendo un dislivello esistente con pendenze di fondo, rampe di pietrame, percorsi d'acqua alternativi, by-pass, ecc. Talvolta queste opere possono essere realizzate anche con tecniche di ingegneria naturalistica. Operano con pendenze ridotte e pertanto possono richiedere buona disponibilità di spazi. La fattibilità della loro realizzazione va usualmente considerata come prima opzione (dopo aver verificato la possibilità di rimozione del manufatto, qualora il relativo uso non sia più necessario, ad es. soglie a servizio di derivazioni non più attive).
- ✓ **Passaggi tecnici (technical fishpasses):** gruppo di opere, con funzionamento testato ed omologato dal punto di vista idraulico, ad elevata funzionalità; apparentemente simili a comuni opere di ingegneria civile sono realizzati tramite uso di murature (essenzialmente c.a. per realizzare il canale principale) e parti metalliche o meccaniche come paratoie, diaframmi, deflettori, ecc. Il loro aspetto non tende ad imitare o ricreare condizioni d'alveo naturali.
- ✓ **Strutture speciali (special fishpasses):** opere (ascensori per pesci, conche, etc.) che permettono il passaggio dei pesci da valle a monte, senza ricostituire però la continuità fluviale. I pesci vengono semplicemente spostati passivamente oppure attivamente, ma il fiume continua a rimanere sostanzialmente interrotto dallo sbarramento. Indicativamente vanno considerate non applicabili al contesto regionale.

Questi macro-gruppi comprendono a loro volta una serie di varianti, costituenti sotto-tipologie di opera in cui le differenze tecniche sono spesso anche sensibili.

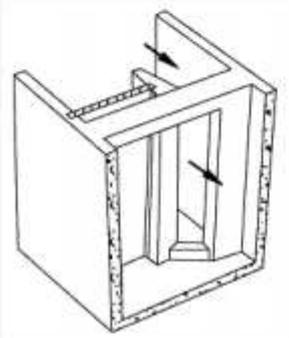
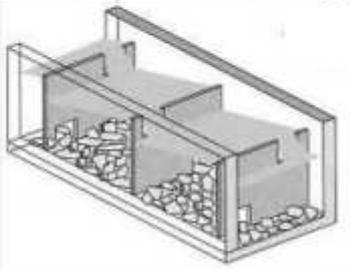
Nelle seguenti tabelle si riporta una sintetica rassegna delle suddette tipologie, evidenziando quelle che generalmente sono applicabili al contesto regionale. Le rimanenti tipologie, per le quali, ove eventualmente applicabile, è atteso un uso molto limitato, sono raggruppate sotto la voce "Altri tipi di passaggio". Per queste ultime, nel prosieguo delle linee guida viene omessa la trattazione di dettaglio: la relativa applicazione, qualora proposta, dovrà essere oggetto di adeguati approfondimenti tecnici volti a verificare l'impossibilità di adottare le tipologie ritenute generalmente applicabili.

PASSAGGI NATURALISTICI

Schema	Caratteristiche e applicabilità	Note
 <p data-bbox="295 1041 462 1075">Bottom ramp</p>	<p data-bbox="614 526 1075 1265">Rampe in pietrame realizzate per tutta la larghezza del corso d'acqua, ad alta scabrezza. Pendenza media 2-4% con altezze superabili usualmente non superiori a 2-3 m. La portata minima di alimentazione può essere mediamente circa 200 l/s per metro di larghezza della rampa, ma preferibilmente di più. Al posto delle classiche briglie di sistemazione per l'erosione del fondo o per conversione di vecchi sbarramenti ove non sia possibile regolare il livello a monte.</p>	<p data-bbox="1088 459 1455 1344">Minime operazioni di manutenzione, buon inserimento paesaggistico e di facile realizzazione per la reperibilità dei materiali, anche se possono essere costose a causa dei grandi volumi necessari. Superabili in tutte le direzioni a seconda di velocità e pendenza di progettazione assegnate per le specie target. Durante i periodi di magra possono restare in secca se non viene creata una gaveta di deflusso principale.</p>
 <p data-bbox="311 1892 446 1926">Fish ramp</p>	<p data-bbox="614 1411 1075 2049">Opere che occupano parzialmente la larghezza di uno sbarramento già esistente. Sono realizzate con una posa uniforme di massi ed un'aggiunta di "boulders" (massi singoli) o "weirs" (soglie in massi) per diversificare il fondo e ridurre la velocità di deflusso. Larghezza min. 2 m, altezze superabili indicativamente 3-4 m, pendenza media 2-4% (maggiore, sino al 6% se realizzate a bacini successivi con serie di soglie in massi),</p>	<p data-bbox="1088 1366 1455 2049">Occorre un buon dimensionamento idraulico per le specie target (anche per periodi di magra) e possono essere costose per gli interventi di demolizione del manufatto da sistemare. Buona capacità di deflusso e minime misure di manutenzione. Adatte per qualsiasi tipo di specie con adeguato dimensionamento di</p>

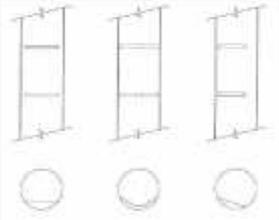
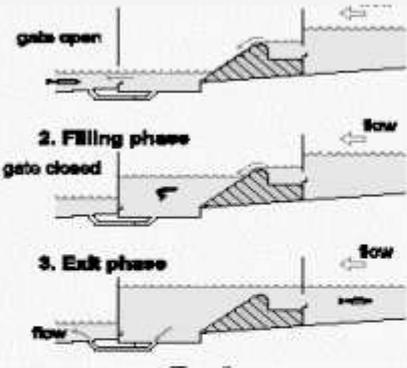
	<p>portata minima raccomandata 100 l/s per metro di larghezza. Adatte per piccole e medie briglie in calcestruzzo o pietrame, oppure al posto di nuove briglie.</p>	<p>velocità dell'acqua.</p>
 <p>Canali by-pass</p>	<p>Corsi d'acqua artificiali in aggiramento allo sbarramento. Utilizzabili per tutti i dislivelli, ma con pendenze massime inferiori al 2-3%. Larghezza minima 0,80-1,20 m, portata minima di funzionamento 100 l/s per metro di larghezza. Adatti a superare qualsiasi ostacolo se vi è sufficiente spazio sulla sponda per la realizzazione. Possono richiedere la realizzazione di tratti terminali (monte e valle) con tipologia tecnica nel caso di sensibili variazioni dei livelli in alveo (in alternativa entrate/uscite multiple)</p>	<p>Richiedono molto spazio per la bassa pendenza di fondo. Spesso occorrono anche lavori accessori come sistemazione delle sponde, ponti o passaggi pedonali e per mezzi meccanici. Superabili per tutte le specie, possono anche costituire habitat semi-naturali per quelle reofile. Costituiscono, nel caso di grandi interventi, vere e proprie opere di Riquilificazione Fluviale.</p>

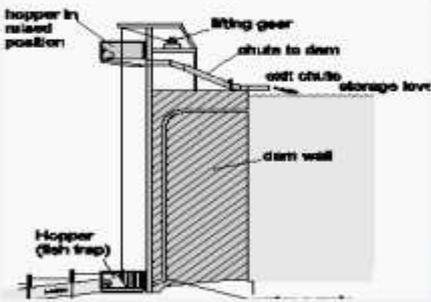
PASSAGGI TECNICI

Schema	Caratteristiche e applicabilità	Note
 <p data-bbox="311 1126 467 1155">Vertical slot</p>	<p data-bbox="635 568 1120 1352">Passaggio a fenditure verticali generalmente costituito da un canale in muratura con setti divisorii in muratura oppure legno/metallo con 1 o 2 fenditure che si estendono per tutta l'altezza della parete. Almeno 0,60-0,80 m profondità; portata minima utilizzabile da circa 150 l/s fino a molti m³/s. Pendenze medie 5-7%, massime sino al 10%. Usati per piccoli, medi ed elevati salti d'acqua, risultano adatti a far fronte a grandi variazioni di livello del fiume senza compromettere la propria efficacia. Adatti sia per piccoli che grandi corsi d'acqua.</p>	<p data-bbox="1139 448 1460 1478">Possono essere dimensionati per grandi portate risultando quindi molto attrattivi. Più funzionali dei passaggi a bacini per i minori rischi di intasamento delle fenditure, operano bene anche in caso di variazioni dei livelli d'alveo. Attualmente rappresentano i migliori tipi di passaggi tecnici, essendo adatti per tutte le specie e possono essere utilizzati anche da invertebrati se il fondo viene naturalizzato con pietrame misto.</p>
 <p data-bbox="300 1845 480 1874">Pool and weir</p>	<p data-bbox="635 1554 1120 2033">Passaggi a bacini successivi generalmente in muratura con setti divisorii in muratura, legno o metallo con 1 stramazzo (ed eventualmente 1 orifizio sul fondo). Gli stramazzi devono risultare parzialmente rigurgitati evitando fenomeni di "plunging flow". L'acqua non deve mai tracimare al di sopra della sommità dei setti, ma deve rimanere</p>	<p data-bbox="1139 1505 1460 2033">Permettono l'utilizzo di portate relativamente basse, usualmente determinano dimensioni dei bacini accettabili solo sino a valori intorno ai 500 l/s. Il funzionamento è fortemente dipendente dalle variazioni dei livelli di monte e valle (gli</p>

	<p>contenuta all'interno di stramazzi/fenditure. Le pareti presentano le fenditure alternate a destra e sinistra. Bacini con lunghezza minima 1,40 m e larghezza 1,00 m; utilizzabili per basse portate, da 50 l/s. Pendenze medie 5-7%, massime sino al 10%. Usati per piccoli e medi salti d'acqua, risultano adatti per sbarramenti idroelettrici con livelli di monte regolati su valori pressoché costanti).</p>	<p>stramazzi possono essere messi in secca, ovvero può avvenire deflusso su tutta la larghezza del setto impedendo così il passaggio dell'ittiofauna a causa dell'eccessiva turbolenza). Possono esserci notevoli rischi di intasamento con i detriti fluitati.</p>
--	---	---

ALTRI TIPI DI PASSAGGIO		
Schema	Caratteristiche e applicabilità	Note
	<p>Categoria: passaggi tecnici</p> <p>Canali in muratura, legno o metallo con deflettori sagomati a "U" e posti con angolazione a 45°. Possono avere larghezza variabile tra 0,6-0,9 m, pendenza massima 15% e lunghezza 6-8 m. Oltre queste lunghezze è previsto l'uso di "resting pools" per la stabulazione del pesce. Utilizzano portate di almeno 250 l/s. Adatti per piccoli dislivelli, soprattutto ove vi è poco spazio. Per dislivelli maggiori si devono realizzare delle "resting pools" tra un tratto e l'altro.</p>	<p>Non si usano in presenza di forti variazioni di livello del fiume e utilizzano portate relativamente alte; occupano tuttavia poco spazio e creano correnti molto attrattive.</p> <p>Risultano non molto adatti a specie deboli o pesci molto piccoli; sono invalicabili per la fauna bentonica.</p>
	<p>Categoria: strutture speciali</p> <p>Passaggi per anguille. Si tratta di sistemi usualmente prefabbricati e modulari, costituiti da canalette metalliche attrezzate con un sottofondo in plastica con ciuffi di setole sintetiche, permeate solo parzialmente da un minimo rilascio d'acqua alimentato a gravità o mediante pompe. Larghezza variabile da 30 a 50 cm, pendenza sino al 40%. Usate come accompagnamento ad altri passaggi oppure da soli, funzionano soltanto durante il periodo migratorio delle piccole anguille (ceche, ragani).</p>	<p>Molto economiche, richiedono un piccolo spazio e bassissima portata. Valide soltanto per piccole anguille, non sono sufficienti a connettere due tratti di un fiume per le altre specie.</p>

 <p>Culverts</p>	<p><u>Categoria: strutture speciali</u></p> <p>Adeguamento di tubazioni per guadi ed attraversamenti minori, atto a consentire la riduzione della velocità della corrente e l'aumento dei tiranti idrici, mediante l'inserimento di deflettori o altre strutture, o realizzando soglie a valle che rigurgitino la tubazione. I deflettori possono avere varie forme e disposizione, e consentono la formazione di sistemi di bacini successivi, utilizzando setti mobili alloggiati entro guide permanenti, in modo da consentire una migliore manutenzione del passaggio e la facile sostituzione di setti eventualmente danneggiati.</p>	<p>Le soluzioni di adeguamento delle condotte sono varie e nella gran parte delle situazioni possono essere studiati sistemi di economici da adeguarsi caso per caso. E' talora preferibile intervenire a valle delle tubazioni creando una soglia con un profilo di rigurgito, a valle della quale realizzare il passaggio.</p>
 <p>Chiuse</p>	<p><u>Categoria: strutture speciali</u></p> <p>Camere a pozzetto regolate da chiuse per l'entrata e l'uscita dell'acqua. La portata di attrazione è generata tramite il controllo dell'apertura della paratoia o immettendo acqua con un by-pass. Misure dei bacini variabili, portata dipendente dalla grandezza di questi e dai cicli di funzionamento. Adatte per dislivelli medio-alti, in situazioni di spazi ridotti e modeste disponibilità d'acqua. E' possibile adeguare a tal fine conche di navigazione esistenti.</p>	<p>Necessitano impiego di notevoli lavori e di continua manutenzione per il corretto funzionamento. Economicamente sconvenienti per la realizzazione, ma anche per i costi di gestione. Non molto adatti a specie di piccole dimensioni o di fondo, ma adatte anche a specie con scarse capacità natatorie. Funzionamento discontinuo.</p>

 <p>Ascensori</p>	<p><u>Categoria: strutture speciali</u></p> <p>Vasche a sollevamento meccanico per il trasporto dei pesci da valle a monte; il collegamento tra il fiume e la vasca di cattura è realizzato con un canale nel quale viene immessa una portata di attrazione. Dimensioni della vasca di carico variabili usualmente da 2 a 4 m³.</p> <p>Impiegabile, come le chiuse, nei casi ove risulti impossibile l'inserimento di un'altra tipologia di opera, ad esempio adatte per dighe di altezza superiore ai 10 m.</p>	<p>Grande impiego di tecnologia, alti costi di realizzazione, funzionamento, gestione e manutenzione. Inadatti a specie di fondo e piccole, ma adatte anche a specie con scarse capacità natatorie. Inadatti per la migrazione verso valle.</p> <p>Funzionamento discontinuo.</p>
--	---	---

Nel seguito della trattazione le considerazioni riportate si basano sempre sull'ipotesi cautelativa che vi sia uno sbarramento esistente da adeguare: questa è la situazione più critica da affrontare in quanto presenta il maggior numero di vincoli e di condizioni al contorno che possono influenzare significativamente la progettazione, determinando talora la necessità di scegliere soluzioni tecniche non ideali. Certamente più agevole sarà invece la progettazione di un passaggio per pesci integrata nella progettazione complessiva di un nuovo sbarramento o manufatto trasversale in alveo, nell'ambito della quale sarà opportuno, salvo casi particolari, prevedere sempre l'impiego delle tipologie di passaggio di seguito indicate come ottimali (**preferire passaggi naturalistici a passaggi tecnici, tra i naturalistici preferire i canali by-pass, tra i tecnici le vertical slot**).

Le seguenti indicazioni sono di carattere generale e da ritenersi applicabili ad ogni tipologia di passaggio.

Lo scopo di un passaggio per pesci è di attrarre in uno specifico punto del corso d'acqua in prossimità di uno sbarramento i pesci che intendono effettuare una migrazione, in modo da farli accedere all'interno di un dispositivo che consenta loro di superare l'ostacolo senza stress, danni o ritardo rispetto ai tempi biologici di migrazione, in modo che essi possano quindi proseguire indisturbati nel loro percorso.

Ubicazione del passaggio, condizioni idrodinamiche all'imbocco e lungo il passaggio (portata d'attrazione, livelli idrometrici e velocità dell'acqua nel dispositivo), unitamente alle caratteristiche migratorie e capacità natatorie delle specie ittiche interessate sono tra i principali elementi chiave per la corretta progettazione ed il conseguente efficace funzionamento di un passaggio per pesci.

5.1. Ubicazione del passaggio

L'ittiofauna migra seguendo la direzione del filone principale della corrente all'interno dell'alveo muovendosi usualmente lungo le sponde del corso d'acqua. Questo comportamento è più evidente quando le portate sono più elevate (ad es. periodo migratorio dei Ciprinidi), in quanto lungo le sponde si determinano condizioni idrodinamiche (velocità e turbolenza) maggiormente idonee a consentire la risalita.

L'imbocco del passaggio per pesci (ingresso da valle) andrà quindi ubicato preferibilmente **lungo la sponda** (o in prossimità della stessa) dal lato in cui la corrente è usualmente più elevata.

La scelta potrà quindi essere basata su una semplice osservazione della morfologia e della batimetria locale al piede ed a valle dello sbarramento, mediante sopralluoghi diretti ed analisi di cartografie e foto aeree, individuando la sponda o il punto il deflusso principale tende ad essere continuo nel corso dell'anno.

L'ubicazione lungo la sponda presenta inoltre una maggiore facilità di intervento sia per la realizzazione del manufatto sia per la successiva manutenzione periodica e monitoraggio dell'efficacia. In tale sede, inoltre, risulta più agevole collegare il fondo del passaggio al substrato di fondo dell'alveo, in modo da garantire, ove applicabile, una certa continuità dalla quale possono trarre beneficio sia le specie con nuoto radente al fondo (ad es. scazzone o stadi giovanili di diverse specie) sia i macroinvertebrati acquatici.

E' quindi generalmente preferibile evitare l'ubicazione del passaggio in altri punti dello sbarramento.

L'ittiofauna tende a migrare sino all'estremo punto di monte raggiungibile liberamente, sino a quando non viene incontrato lungo il percorso un ostacolo invalicabile (manufatto antropico o salto naturale) o condizioni idrodinamiche che rendono impossibile un'ulteriore risalita a monte (velocità elevate, eccessiva turbolenza, risalti idraulici, etc.).

E' quindi fondamentale **localizzare l'imbocco del passaggio** (estremo di valle del dispositivo) **nel punto più a monte raggiungibile dall'ittiofauna in risalita**.

In tale punto dovrà essere altresì assicurata la presenza di un adeguato filone della corrente che sia chiaramente riconoscibile dall'ittiofauna, e comunque si deve porre attenzione al fatto che in tale localizzazione siano assenti eccessive turbolenze ed ossigenazione, o, al contrario, zone di acqua ferma.

Nelle seguenti illustrazioni, costituenti un riferimento classico fondamentale nella localizzazione dei passaggi per pesci (Larinier, 2002), vengono evidenziate alcune situazioni esemplificative e la conseguente corretta ubicazione del passaggio.

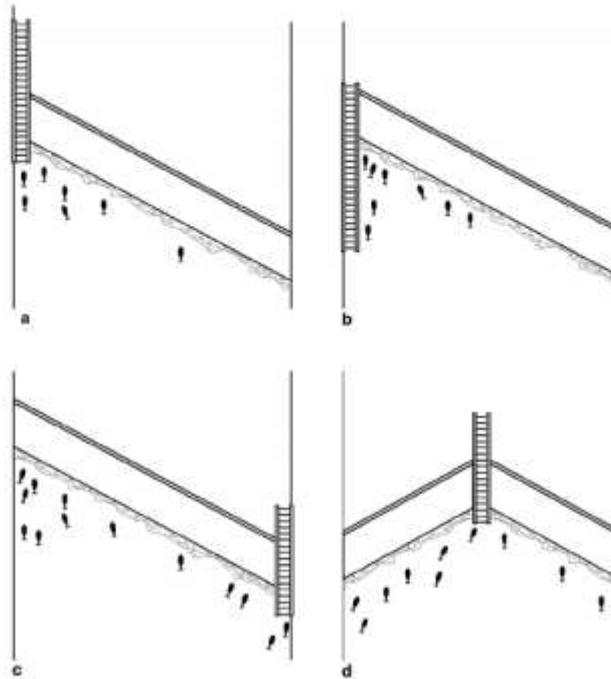


Figura 7. Sbarramento posto in diagonale rispetto alla corrente (da Larinier et al. 2002, modificato)

Considerando la traversa posta in diagonale della figura precedente, il caso a) rappresenta un'ubicazione corretta: lungo la sponda e nel punto più a monte raggiungibile dall'ittiofauna, mentre nel b) l'ingresso è posto troppo a valle rispetto alla traversa e quindi il pesce tenderà a muoversi ulteriormente a monte. Ubicazione non corretta anche nel caso c), in cui il passaggio è posto sulla sponda opposta; infine nel caso particolare d) l'ubicazione è corretta ma determina problemi di accessibilità al manufatto per le operazioni di manutenzione periodica.



Figura 8. Esempio relativo al caso a): fish ramp in sponda sinistra sul torrente Chiusella, vista aerea e da monte su passaggio (da Google maps; foto Comoglio)

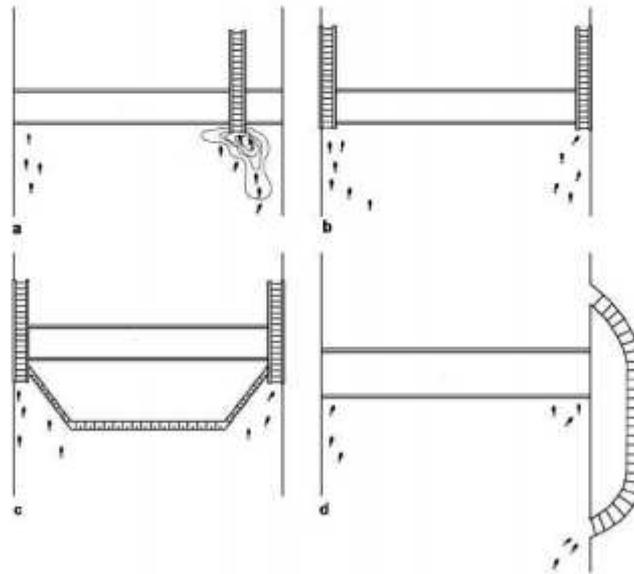


Figura 9. Sbarramento ortogonale alla corrente (da Larinier et al. 2002, modificato)

Con traversa posta ortogonalmente alla corrente, il caso a) rappresenta un'ubicazione corretta in quanto posta in corrispondenza di un evidente segno morfologico ("pool" a valle della traversa) di deflusso principale, anche se vi possono essere problemi connessi all'accessibilità per interventi di manutenzione; il caso b) è volto a rappresentare situazioni in cui la larghezza dell'alveo è tale da richiedere la realizzazione di un passaggio su entrambe le sponde per evitare che l'imbocco da un solo lato non sia agevolmente identificabile dall'ittiofauna in risalita lungo la sponda opposta (indicativamente l'opzione di realizzazione di 2 passaggi può essere indispensabile per larghezze d'alveo > 100 m, ma in ogni caso tale necessità è da valutarsi singolarmente a livello sito-specifico anche per valori inferiori). Il caso c) rappresenta schematicamente la possibilità di realizzare in alveo delle strutture "accessorie", quali ad esempio una soglia in massi ciclopici od una protezione in rip-rap, volte ad indirizzare l'ittiofauna verso l'imbocco dei/l passaggi/o.

Nel caso d) infine viene rappresentata una situazione in cui l'imbocco è posto molto a valle rispetto allo sbarramento e quindi un'ubicazione non corretta; tale situazione può però rivelarsi inevitabile in alcuni casi a causa delle condizioni locali lungo la sponda in prossimità dello sbarramento (ad es. elevato dislivello e difficile accessibilità, altri manufatti, etc.); in tale evenienza, in assenza di alternative, la soluzione rappresentata schematicamente può ritenersi accettabile qualora il deflusso attraverso il passaggio (o comunque in corrispondenza dell'imbocco del passaggio) sia significativamente incrementato rispetto ai valori usuali, andando a costituire una frazione rilevante del deflusso in alveo durante il periodo migratorio che venga chiaramente identificata dall'ittiofauna in risalita. Qualora l'alveo non abbia larghezza elevata può essere valutata la possibilità di realizzare una soglia in massi ciclopici non valicabile dall'ittiofauna (ad esempio che crei un DH di

almeno 40-50 cm), in analogia a quanto indicato nel caso c), che indirizzi la risalita verso l'imbocco del passaggio, come rappresentato di seguito.

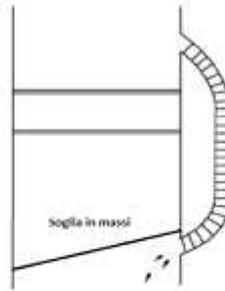


Figura 10. Realizzazione di soglia accessoria per indirizzare l'ittiofauna verso l'imbocco del passaggio (da Larinier et al. 2002, modificato)

In ogni caso per il posizionamento dell'imbocco del passaggio si dovranno adeguatamente considerare le condizioni idrodinamiche presenti a valle dello sbarramento, evitando che l'accesso sia "mascherato" da un eventuale risalto idraulico o dalla formazione di zone di ricircolo della corrente. In quest'ultimo caso, in assenza di alternative, potrà essere utile intervenire in alveo con la posa di materiale che elimini il fenomeno, come rappresentato di seguito.

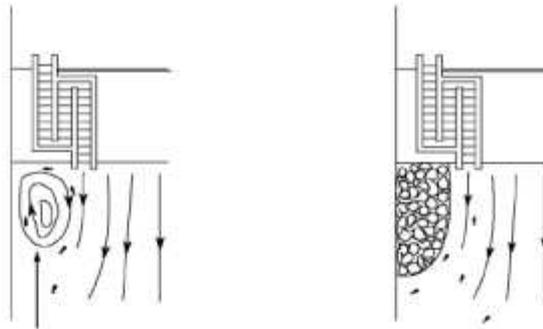


Figura 11. Intervento con posa di massi per eliminazione zone di ricircolo (da Larinier et al. 2002, modificato)

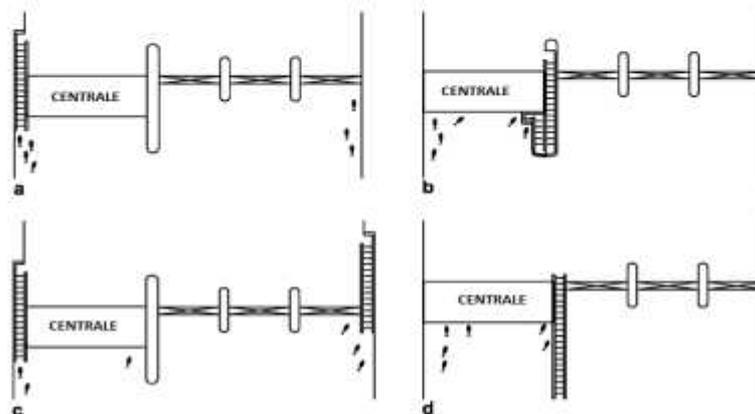


Figura 12. Sbarramento con centrale in corpo traversa (da Larinier et al. 2002, modificato)

Qualora vi sia una centrale in corpo traversa, il filone principale della corrente a valle dello sbarramento sarà concentrato in corrispondenza degli scarichi delle turbine per gran parte dell'anno (ad eccezione di fermo-impianto, o morbide del corso d'acqua in cui si attivano gli sfiori) e quindi l'ittiofauna tende a posizionarsi in tale zona; l'imbocco del passaggio andrà quindi opportunamente ubicato in tale sede, avendo cura di evitare zone di ricircolo o ad elevata turbolenza (da valutare in funzione delle diverse condizioni operative della centrale); i casi a) e b) rappresentano quindi un'ubicazione corretta, in cui si evidenzia, tra l'altro, la possibilità di sviluppare il passaggio ripiegato su sé stesso, qualora il dislivello da superare non consenta uno sviluppo lineare. Il caso c) rappresenta la necessità di prevedere due passaggi, uno per sponda: tale situazione può rivelarsi opportuna nei casi in cui la traversa abbia estensione trasversale ragguardevole e sia attesa una migrazione nei periodi in cui la portata del fiume determini l'attivazione degli sfiori per valori tali da inficiare l'attrattività degli scarichi della centrale come filone principale della corrente; il caso d) rappresenta infine un'ubicazione non corretta, troppo distante dagli scarichi e lontana dalla sponda.



Figura 13. Esempio relativo al caso a): imbocco del passaggio per pesci affiancato a scarico centralina ausiliaria per recupero energetico di quotaparte del DMV su fiume Piave (Pini Prato, 2011)

Il caso c) della figura precedente (due passaggi per pesci) fornisce lo spunto per evidenziare una situazione critica, non sempre di agevole od univoca risoluzione, che però si presenta quando si analizza il ripristino della continuità fluviale presso derivazioni idroelettriche. La figura seguente rappresenta il caso di una derivazione idroelettrica in cui si ha prelievo e restituzione sul medesimo corso d'acqua, determinando la sottensione un certo tratto dell'alveo naturale del corso d'acqua derivato, con un salto limitato.

Tale "nodo idraulico" va analizzato nel dettaglio, valutando le condizioni di deflusso determinate dall'esercizio dell'impianto idroelettrico, ossia le portate defluenti nell'alveo naturale e quelle turbinate e restituite in alveo dalla centrale nelle diverse condizioni idrologiche ed operative dell'impianto nel corso dell'anno. Indicativamente in condizioni normali il filone principale della

corrente è quello restituito in alveo dopo essere stato turbinato, mentre nell'alveo naturale a valle dello sbarramento si ha unicamente il rilascio del DMV; pertanto l'ittiofauna in risalita tenderà prevalentemente a dirigersi verso gli scarichi della centrale. In condizioni di "magra", ossia portate in arrivo alla traversa $\leq 2 \cdot \text{DMV}$, il filone principale della corrente sarà invece costituito dal rilascio del DMV a valle della traversa nell'alveo naturale. Quando infine la portata in arrivo da monte si porta su valori superiori alla somma di DMV e portata derivabile massima, l'esercizio dell'impianto determinerà l'attivazione di uno sfioro sulla traversa incrementando progressivamente l'attrattività per l'ittiofauna di tale filone di deflusso nell'alveo naturale.

Una volta analizzate nel dettaglio le suddette condizioni ed avere esaminato i periodi migratori delle specie presenti andrà valutata la possibilità di realizzare un passaggio sia presso la traversa, sia presso la centrale, in modo da garantire in ogni condizione operativa e periodo dell'anno la possibilità di superamento dell'ostacolo. L'ipotesi di realizzazione di un passaggio presso la centrale andrà però adeguatamente valutata considerando le condizioni di deflusso lungo il canale di derivazione, che spesso possono non essere adeguate alla risalita dell'ittiofauna (canale intubato o in galleria, presenza di salti o dispositivi di regolazione non superabili, velocità della corrente eccessive, lunghezza elevata del canale, assenza di zone di calma o rifugi, artificialità del canale con assenza di substrato e "cover", etc.), rendendo così poco opportuno l'intervento. Va quindi considerata l'opportunità di realizzare sul canale di restituzione in alveo, a valle della centrale, un ostacolo non superabile dall'ittiofauna (situazione talora già riscontrabile in precedenza) in modo che, nonostante il filone di deflusso principale provenga dalla centrale, l'ittiofauna non potendo risalire lungo tale percorso, tenda a portarsi verso la traversa. Certamente sarà opportuno prevedere, quantomeno nei periodi dell'anno in cui è atteso il picco della migrazione delle specie ittiche presenti nel corso d'acqua, una specifica modulazione del rilascio del DMV su valori tali da rendere attrattivo il filone della corrente nell'alveo naturale.

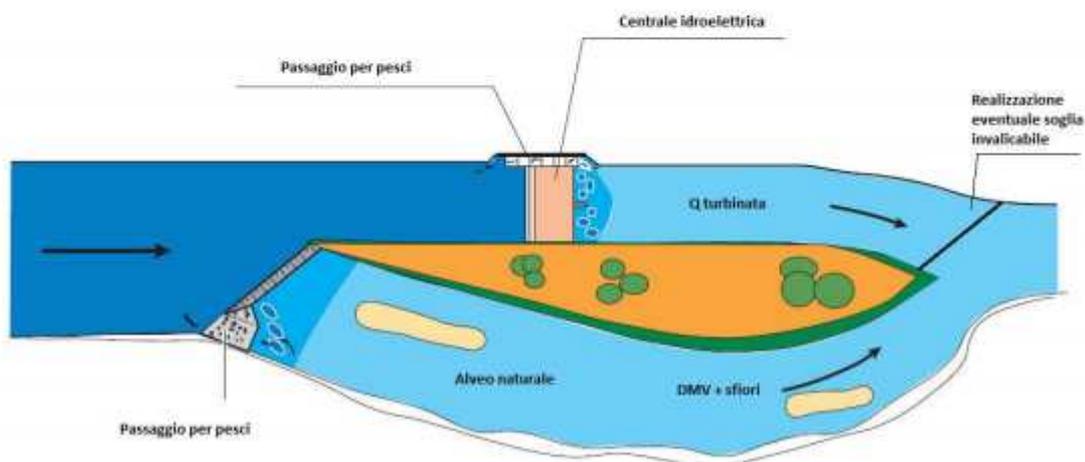


Figura 14. Schema impianto idroelettrico (da DVWK, 2002, modificato)

Per quanto all'**uscita del passaggio (estrema sezione di monte)**, essa deve essere ubicata sulla sponda dell'alveo, ma non in corrispondenza di zone ad alta velocità e, ove possibile, non in stretta prossimità di organi idraulici o sfiori o dell'imbocco del canale di derivazione, per evitare che il pesce, completata la risalita lungo il passaggio, possa essere trascinato a valle dalla corrente. Valori di riferimento, esclusivamente indicativi, sono il mantenimento di una distanza di circa 5 m tra l'uscita del passaggio e tali strutture e la presenza locale di velocità della corrente inferiori a 0,5-0,6 m/s.

Va altresì evitato, per quanto possibile, il posizionamento dell'uscita in zone statiche a corrente nulla ed in zone con ricircoli della corrente e vortici che potrebbero impedire l'ulteriore risalita.

Generalmente l'uscita a monte dell'ostacolo è inevitabilmente posizionata nell'invaso, ossia in una zona in cui il livello idrico è significativo e le velocità della corrente sono basse. Se da un lato il deflusso verso il passaggio (e quindi il progressivo aumento della velocità della corrente da vaso a passaggio) può costituire un fattore di attrazione per l'individuazione del dispositivo ai fini della migrazione a valle, dall'altro, il pesce che ha risalito il passaggio si trova ad entrare in un ambiente caratterizzato da condizioni ed habitat completamente diversi da quelli precedentemente riscontrati nel proprio percorso di risalita. Teoricamente l'uscita andrebbe ubicata ulteriormente a monte, dove l'influenza del profilo di rigurgito dell'invaso non è più sensibile, in modo che l'ittiofauna, dopo il passaggio, ritrovi condizioni idrodinamiche ed ambientali pienamente favorevoli; questa opzione però, non sempre tecnicamente fattibile, oltre a determinare costi nettamente superiori, rende di fatto il passaggio difficilmente fruibile per lo svallamento e risulta generalmente non praticabile.

In ogni caso, nella scelta dell'ubicazione dell'uscita di monte vanno prese in esame le condizioni morfologiche del punto individuato, evitando zone in cui vi sia evidenza o tendenza alla sedimentazione del trasporto solido del corso d'acqua. L'intasamento del passaggio con materiale (ghiaia, ciottoli, sabbia, etc.) trasportato a valle dalla corrente rappresenta infatti una delle principali cause di malfunzionamento di alcune tipologie di passaggi (principalmente quelli "pool and weir" con orifici sommersi).



Figura 15. Esempio di passaggio non correttamente funzionante a causa dell'intasamento da materiale flottante e trasporto solido (foto Pini Prato)

Presso l'uscita di monte va usualmente prevista la realizzazione di una sezione in cui sia possibile inserire una paratoia (da mantenere sempre aperta, con deflusso a pelo libero) da impiegare esclusivamente per interventi di manutenzione che richiedano la messa in asciutta del passaggio, ovvero per chiusura in occasione di eventi di piena per evitare che il manufatto possa venire danneggiato.

Nel caso di passaggi di tipo tecnico è altresì opportuno prevedere la possibilità di agevole alloggiamento di nasse per l'effettuazione di catture durante le attività di monitoraggio dell'efficacia del passaggio.

In tale sede va anche valutata l'opportunità di realizzare adeguati **dispositivi di protezione** dal materiale flottante trascinato a valle dalla corrente (rami, rifiuti, etc.), che possono consistere in una serie di barre verticali, a sezione arrotondata, con luce libera tra di esse di almeno 30 cm (o superiore nel caso di sia atteso il passaggio di esemplari di notevoli dimensioni). La velocità della corrente attraverso le barre dovrà indicativamente attestarsi al di sotto di 0,5 m/s. Vanno altresì previsti periodici interventi di manutenzione ordinaria per la rimozione del materiale accumulatosi localmente, e pertanto va garantita una buona accessibilità al dispositivo.

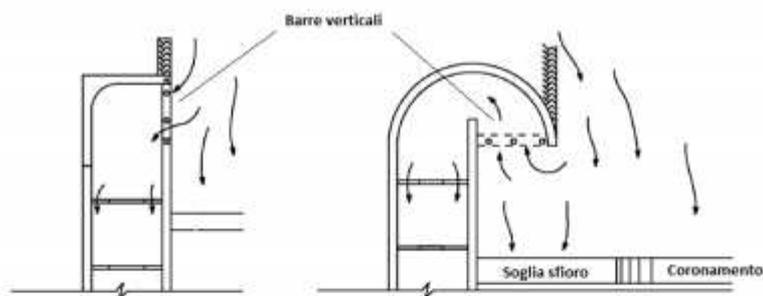


Figura 16. Esempi di protezioni dal materiale flottante (da Larinier et al. 2002, modificato)



Figura 17. Sistema di barre protettive in corso di realizzazione sulla soglia di sfioro di un passaggio per pesci in ambiente appenninico (Pini Prato, 2003)

In ogni caso andrà sempre predisposto un **Piano di manutenzione** del passaggio per pesci per mantenerlo in condizioni adeguate per un corretto funzionamento. La manutenzione ordinaria di un passaggio per pesci è finalizzata a rendere l'opera efficiente e massimamente funzionale, nel momento in cui sta per iniziare la stagione migratoria della fauna ittica. Nei corsi d'acqua in cui si è in presenza di fauna ittica ciprinicola e salmonicola, sono attesi due principali momenti di rimonta, e pertanto la manutenzione ordinaria andrà effettuata almeno 2 volte l'anno, ovvero prima dei rispettivi momenti migratori (indicativamente marzo e settembre). In linea di massima si raccomanda l'effettuazione di un sopralluogo con ispezione visiva una volta al mese.

La manutenzione ordinaria consiste nella verifica che tutte le sezioni di deflusso (fenditure, stramazzi, etc.) siano libere e non risultino occluse da residui vegetali (rami, tronchi, foglie, etc.), plastica o quant'altro o da materiale sedimentatosi che possa inficiarne il funzionamento idraulico; in tal senso, come indicato in precedenza, particolare attenzione andrà posta alla sezione di ingresso dell'acqua (uscita a monte per il pesce). Qualora si ravvisino problematiche si dovrà operare in modo da ripristinare le condizioni di deflusso; ove applicabile e necessario, andrà bloccata l'alimentazione del passaggio e si dovrà prevedere l'intervento degli addetti all'interno del manufatto, o potrà eccezionalmente rendersi necessario l'ingresso in alveo di mezzi operativi.

La manutenzione straordinaria andrà invece effettuata ogni qualvolta un evento eccezionale renda inefficiente il passaggio per pesci, generalmente a causa di piene con elevata fluitazione di materiali galleggianti e non. Ciò pertanto potrebbe avvenire con ridotta probabilità, ma non è comunque da escludersi che possa avvenire anche con inattesa frequenza. Le operazioni consistono nelle stesse già esplicate per la manutenzione ordinaria: in sostanza la manutenzione si può considerare straordinaria nel momento in cui viene effettuata al di fuori dei periodi prima individuati. Nel caso di danneggiamento importante di parti del passaggio artificiale (che siano murarie, metalliche o quant'altro), si dovrà provvedere a restauro della parte danneggiata o completa sostituzione, al fine di garantire il ripristino della massima funzionalità dell'opera.

È infine opportuno prevedere un coordinamento da parte delle Autorità competenti nel caso sia prevista la realizzazione di lavori in alveo a monte del passaggio, in modo da evitare che l'effettuazione di tali interventi possa comportare problemi al corretto funzionamento del dispositivo non immediatamente gestibili nell'ambito dei sopralluoghi periodici. Nel caso di interessamento di periodi critici per la migrazione ittica potrà inoltre essere opportuno che gli enti preposti pongano divieto temporaneo all'effettuazione di lavori in alveo che possano direttamente impattare sulla funzionalità di uno o più passaggi.

5.2 Condizioni idrauliche

Portata di competenza del passaggio

Dal momento che l'ittiofauna tende a migrare seguendo il filone principale della corrente in alveo, il deflusso in corrispondenza dell'imbocco di valle del passaggio dovrà essere individuabile nell'alveo anche ad una certa distanza dallo sbarramento.

Come già specificato in precedenza andrà garantito che il deflusso di competenza del passaggio per pesci non subisca un "mascheramento" a causa di risalti idraulici, altre correnti e ricircoli che impediscano l'identificazione del corretto percorso da parte dell'ittiofauna.

E' inoltre opportuno che la direzione del deflusso non sia ortogonale alla direzione di deflusso principale del corso d'acqua.

L'attrattività del passaggio (possibilità di essere individuato a distanza) dipende dalla direzione del deflusso e dal suo momento (portata per velocità): maggiore è quest'ultimo parametro, maggiore sarà la distanza alla quale il filone della corrente di competenza del passaggio può essere percepito dall'ittiofauna in risalita.

Maggiore è la portata che costituisce il filone della corrente defluente in alveo che indirizza la risalita verso l'imbocco di valle del passaggio, maggiore risulta l'attrattività del passaggio.

Come regola generale di riferimento si assume che il filone della corrente di attrazione deve essere di entità sufficiente a "competere" con eventuali altre portate presenti in alveo a valle dello sbarramento (ad es. portate turbinate da centrale in corpo traversa, portate sfiorate o rilasciate a valle dello sbarramento mediante organi mobili, etc.), cioè che possa essere chiaramente identificata dall'ittiofauna in risalita rispetto ad altri flussi.

La "riconoscibilità" del **deflusso di competenza del passaggio per pesci** deve essere garantita da un valore di portata "di attrazione" compreso al minimo tra l'1% ed il 5% della portata del fiume presente in alveo a valle dello sbarramento durante il periodo migratorio.

Tale requisito minimo è ovviamente soddisfatto ampiamente nel caso di derivazioni in cui, per lunghi periodi di tempo durante l'anno, la portata defluente in alveo è costituita dal solo rilascio del DMV e vi è assenza di sfiori o rilasci da organi mobili; tale situazione si verifica sostanzialmente quando la portata in alveo in arrivo a monte dello sbarramento è compresa tra valori di magra sino a portate pari alla somma di DMV e portata derivabile massima. In queste condizioni, seppur ecologicamente non ottimali, la portata di competenza del passaggio rappresenta il 100% della portata defluente in alveo, e quindi l'attrattività del dispositivo è massima (unico filone di deflusso presente in alveo).

Tale condizione non significa però che l'intero DMV debba necessariamente defluire attraverso il passaggio per pesci. Infatti maggiore è la portata che defluisce attraverso il passaggio maggiori

saranno le dimensioni ed i costi del dispositivo stesso, anche per soddisfare la necessità di una adeguata dissipazione dell'energia cinetica della corrente sino a valori sostenibili per rendere percorribile il dispositivo da parte delle specie coinvolte. A tale aumento di costi non corrisponde un effettivo beneficio ecologico e quindi usualmente vengono realizzati passaggi di minori dimensioni (range usuale da 40+50 l/s sino ad 1+1,5 m³/s) e si fa ricorso al rilascio di portate ausiliarie (mediante stramazzi o tubazioni) in corrispondenza dell'imbocco di valle del passaggio in modo che in alveo sia effettivamente disponibile un valore complessivo di portata (portata del passaggio + portata ausiliaria) adeguatamente "attraente".

Pertanto è ammissibile che la portata del passaggio costituisca solo una frazione del DMV, a condizione che la restante portata venga rilasciata in modo funzionale all'attrattività del dispositivo. Questa soluzione, che consente di ottimizzare i costi mantenendo l'efficacia del passaggio, va però progettata in modo che il rilascio della portata ausiliaria in prossimità del dispositivo non crei zone ad elevata turbolenza o ad elevata velocità della corrente o zone di ricircolo tali da costituire un ostacolo all'accesso del passaggio.

La portata ausiliaria va quindi rilasciata in corrispondenza dell'imbocco del passaggio a bassa velocità e con minima aerazione: ciò può avvenire garantendo un'adeguata dissipazione dell'energia cinetica di tale portata alimentando tramite stramazzo o canale un'apposita vasca di dissipazione collegata all'alveo a valle, ovvero mediante recupero energetico, tramite apposite turbine. Usualmente è raccomandata la realizzazione di un bacino di valle in cui i due flussi (portata del passaggio e portata ausiliaria con energia cinetica dissipata) si uniscono per poi defluire in alveo tramite uno stramazzo a fenditura verticale. Il collegamento a tale bacino (o direttamente in alveo) della sezione di rilascio della portata ausiliaria dovrà eventualmente essere dotato di appositi dispositivi (griglie o barre verticali) che evitino che il pesce tenti la risalita lungo questo percorso anziché lungo il passaggio per pesci. Tali dispositivi andranno soggetti a periodica manutenzione per evitare l'intasamento da parte del materiale trascinato a valle dalla corrente.

Quando si attua il rilascio parziale del DMV attraverso il passaggio per l'ittiofauna, il rilascio della restante quota parte del DMV in zone dello sbarramento diverse da quella in cui è insediato il passaggio va possibilmente evitato, in quanto ciò potrebbe indurre l'ittiofauna a percorrere filoni di corrente che la indirizzano lontano dall'imbocco del dispositivo. Ove ciò non sia praticabile va garantito che il filone della corrente di attrazione (portata passaggio + portata ausiliaria) sia costituito da almeno il 50% del DMV (cfr. Regolamento regionale 17 luglio 2007, n. 8/R).

L'impiego di portate ausiliarie in aggiunta alla portata del passaggio, eventualmente con recupero energetico delle stesse, andrà inoltre considerato per le situazioni in cui, a causa delle condizioni locali, l'imbocco del passaggio debba essere posizionato ad una certa distanza dallo sbarramento.

In caso di condizioni idrologiche ed operative della derivazione che determinino deflussi a valle dello sbarramento superiori al DMV (rilascio modulato, sfioro portate in eccesso, fermi impianto, etc.) andrà verificato almeno il rispetto della regola generale portata di attrazione $\approx 1+5\%$ della portata in alveo a valle dello sbarramento. In ogni caso sarà opportuno massimizzare ($>5\%$) il valore della portata defluente a valle della traversa che determina un filone d'attrazione per la risalita verso l'imbocco del passaggio.

I suddetti valori di riferimento andranno inoltre esaminati con attenzione quando il periodo migratorio è associato a significative portate in alveo (ad es. migrazioni primaverili dei Ciprinidi): si dovrà pertanto valutare se la portata di competenza del passaggio (portata del passaggio + eventuale portata ausiliaria) sia effettivamente identificabile dall'ittiofauna in risalita rispetto al restante deflusso in alveo proveniente dagli sfiori.

A tal fine, in caso di traverse con organi di regolazione vanno definite regole operative per l'apertura degli organi mobili in modo da attuare un rilascio a valle tale da orientare la risalita verso l'imbocco del passaggio, come evidenziato nella figura seguente. In tal modo, nel caso di significative portate in alveo che determinino la necessità di aprire gli organi mobili (caso a), il rialzo idraulico dovuto al rilascio dalle paratoie, minore in prossimità del passaggio, tenderà ad indirizzare l'ittiofauna verso il passaggio.

In caso di portate minori (caso b), invece, l'apertura controllata di un organo idraulico prossimo al passaggio determina la formazione di una portata ausiliaria che rende attrattiva la sponda su cui è ubicato l'imbocco.

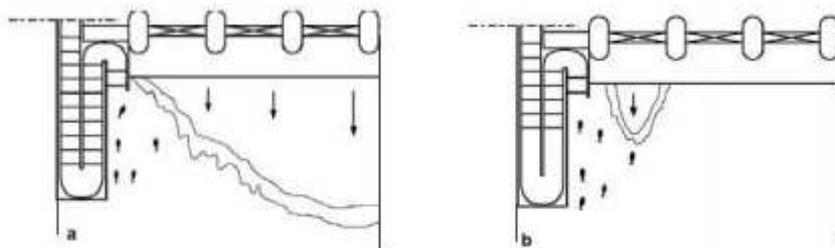


Figura 18. Esempio di regolazione di organi mobili per indirizzare la risalita verso il passaggio (da Larinier et al. 2002, modificato)

In ogni caso, oltre a quanto specificato in relazione ai valori di portata, la velocità dell'acqua effettivamente in uscita dal passaggio dovrà essere percepibile dall'ittiofauna che grazie ad un'adeguata portata di attrazione si sarà spostata verso l'imbocco del passaggio. Tali valori dovranno comunque essere sostenibili da parte di tutte le specie ittiche che usufruiscono del ripristino della continuità del corso d'acqua. In letteratura sono raccomandati valori indicativi di velocità di circa $0,8+1$ m/s.

Livelli idrici

Oltre ad un'adeguata valutazione della portata da assegnare al passaggio è fondamentale che nella progettazione vengano presi in attento esame i livelli idrici che si possono manifestare in alveo **a monte ed a valle dello sbarramento** durante i periodi migratori, ed in generale durante l'intero arco dell'anno, in quanto tali valori costituiscono fondamentali condizioni al contorno rispetto alle quali andrà progettata e verificata la funzionalità del passaggio in termini di condizioni idrodinamiche previste all'interno dello stesso.

La fluttuazione dei livelli in alveo a monte ed a valle dello sbarramento può infatti indurre cambiamenti significativi nel funzionamento idraulico del passaggio per pesci, determinando condizioni idrauliche talora non sostenibili dall'ittiofauna. Ad esempio, nel caso di passaggi "pool and weir" con bacini alimentati da semplici stramazzi rettangolari, una riduzione dei livelli di monte può mettere in secca il passaggio, mentre un loro aumento eccessivo può attivare lo sfioro su tutta la larghezza del setto che separa bacini successivi, causando così un'eccessiva turbolenza nei bacini che, conseguentemente, potrà impedire la risalita dei pesci. Tale condizione (sfioro sulla sommità del setto) va sempre evitata ed il deflusso deve permanere, in ogni condizione operativa, sempre contenuto all'interno di fenditure e stramazzi.

Usualmente, al crescere della portata in arrivo da monte si ha un aumento dei livelli idrometrici molto più consistente a valle che a monte dello sbarramento, condizione che determina la sommersione di una porzione di valle del passaggio e la conseguente riduzione della portata defluente e quindi dell'attrattività del dispositivo.

Condizione ideale è la possibilità di regolare i livelli di monte grazie ad un'adeguata automazione dello sbarramento e dell'opera di presa; in tal modo si può garantire una limitata variazione dei tiranti idrici in ogni condizione idrologica e comunque tale da determinare condizioni idrodinamiche all'interno del passaggio che ne consentano il corretto funzionamento e quindi una piena fruibilità da parte dell'ittiofauna. Condizioni analoghe possono riscontrarsi anche presso traverse senza organi di regolazione ma con ciglio sfiorante molto ampio, in quanto al crescere della portata in arrivo da monte l'aumento dei livelli sulla soglia di sfioro rimane modesto.

In ogni caso la possibilità che il passaggio continui ad operare in modo adeguato al variare dei livelli idrici dipende dalla geometria del passaggio ed in particolare, nel caso di passaggi di tipo tecnico, dal tipo di connessione tra bacini (fenditure verticali, stramazzi, orifici, etc.).

La tipologia di passaggio tecnico che garantisce la maggiore flessibilità di funzionamento al variare dei livelli idrici è certamente la "vertical slot": le variazioni dei livelli sono infatti distribuite attraverso le fenditure verticali (che interessano l'intera profondità del setto che divide bacini successivi) su più bacini e le variazioni delle condizioni idrodinamiche all'interno dei bacini sono "spalmate" lungo

il percorso del passaggio. Per la tipologia "pool and weir" è invece preferibile la soluzione con orifici sommersi e fenditure laterali alternate.

Spesso risulta opportuno realizzare una sezione di valle (collegamento all'alveo a valle dello sbarramento) attrezzata come bacino in cls con fenditura verticale sull'intera profondità, anche nel caso di canali by-pass (vedi esempio in figura seguente), in maniera analoga a quanto accennato in precedenza in relazione all'eventuale bacino in cui la portata del passaggio e la portata addizionale si uniscono.

Ove le variazioni dei livelli di valle siano particolarmente significative una possibile opzione, seppur complessa, può prevedere il rilascio di una portata addizionale ad una quota corrispondente ai valori più alti dei livelli in alveo, in modo che tale ulteriore rilascio localizzato attenui la riduzione di attrattività determinata dalla sommersione della porzione di valle del passaggio.



Figura 19. Esempi di collegamento del passaggio all'alveo mediante fenditura verticale (da Gebler, 2005)

Nell'analisi delle variazioni dei livelli idrici di valle andranno poi adeguatamente esaminate le quote del fondo alveo nella zona in cui si intende ubicare l'imbocco del passaggio, in quanto, ove applicabile, va realizzato un collegamento che metta in continuità il fondo del passaggio ed il fondo alveo; tale connessione può essere realizzata mediante un riempimento o rampa in massi sommersa, come evidenziato nella seguente figura. Presso l'imbocco, in alveo, andrà comunque garantita una sufficiente profondità dell'acqua che consenta la sosta all'ittiofauna in risalita.

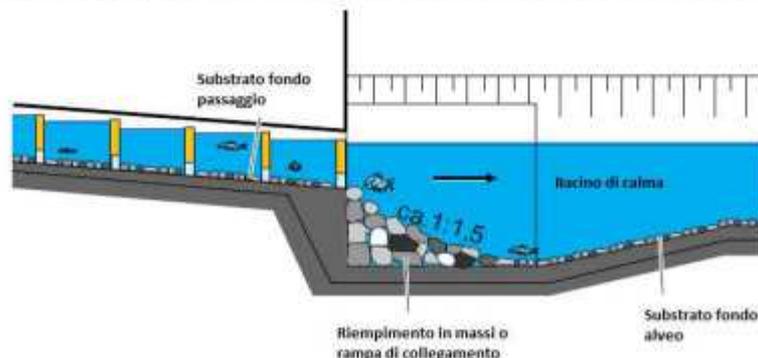


Figura 20. Esempio di collegamento al fondo alveo (da DVWK, 2002, modificato)

Ove applicabile, la continuità del materiale di fondo andrà opportunamente fatta proseguire lungo il passaggio, in cui andrà prevista la posa in opera di un substrato di fondo continuo in materiale (possibilmente reperito in alveo) non cementato ed a granulometria mista. Lo spessore del substrato dovrà essere almeno pari a 20 cm, con granulometria avente d_{50} di almeno 50-60 mm, avendo cura di prevedere l'inserimento di ciottoli e boulders di dimensioni anche superiori ai 20 cm (questi eventualmente immorsati nel sottofondo in cls, vedi figura seguente), pur cercando di replicare le condizioni riscontrabili localmente in alveo o in affluenti minori.



Figura 21. Esempi di substrato di fondo in una vertical slot (da Zitek, 2011 e Rucker e Wittmann, 2005)

La realizzazione di tale substrato determinerà inoltre la formazione di un profilo di velocità della corrente con valori ridotti sul fondo e presso le eventuali fenditure (vedi figura seguente) che consentirà la risalita anche agli esemplari delle specie con capacità natatorie meno spiccate e con nuoto radente al fondo.

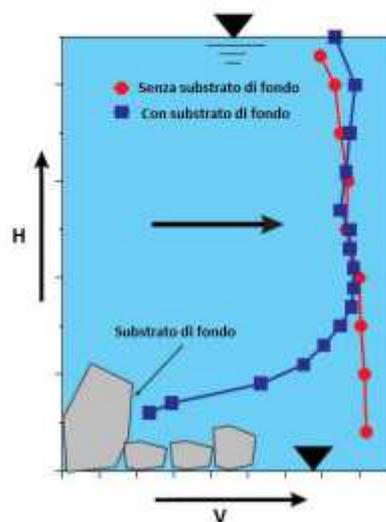


Figura 22. Profili di velocità con e senza substrato di fondo in una vertical slot (da DVWK (Gebler), 2002, modificato)



Figura 23. Realizzazione di un substrato roccioso su passaggio per scazzone sul torrente Bisenzio (Pini Prato, 2011)

Per quanto ai livelli di monte, fluttuazioni limitate possono essere adeguatamente gestite mediante la realizzazione di una sezione di deflusso della portata nel passaggio attraverso una fenditura verticale, ovvero di un primo tratto del passaggio realizzato mediante una serie di bacini successivi del tipo vertical slot, che vadano quindi a collegarsi alla porzione successiva del passaggio (ad es. canale by-pass).

Talora vengono invece realizzate serie di bacini con sezioni di controllo con orifizi sommersi o dotate di paratoie mobili, ma tali soluzioni sono generalmente da evitare, essendo sempre preferibile garantire la continuità del deflusso a pelo libero lungo l'intero passaggio; inoltre gli orifizi sommersi sono particolarmente esposti al rischio di occlusione da parte del materiale trasportato a valle dalla corrente, mentre sistemi regolati con paratoie mobili (eventualmente asserviti mediante plc al rilievo del livello in alveo) richiedono costi superiori e controlli frequenti.

Qualora le variazioni dei livelli di monte siano più significative (indicativamente ≥ 1 m) risulta invece necessario prevedere la realizzazione di uscite multiple, poste a diversi livelli, in modo che alle fluttuazioni idrometriche di monte corrisponda la possibilità di attivare (incremento livelli) o by-passare (riduzione) alcuni bacini del passaggio (vedi figura seguente). Anche in questo caso è sempre preferibile impiegare sezioni di deflusso a fenditure verticali, ed impiegare, almeno in tale tratto di monte dl passaggio, una serie di bacini successivi della tipologia vertical slot.

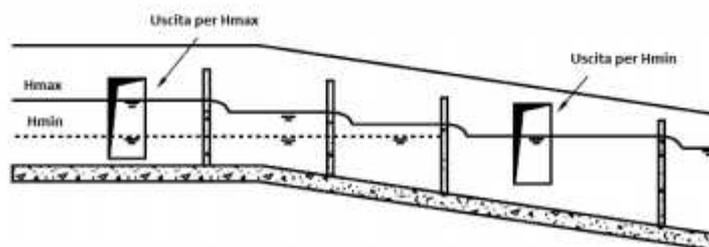


Figura 24. Esempio di uscite multiple per significative variazioni dei livelli di monte (da Larinier et al. 2002, modificato)

Alla luce delle precedenti considerazioni, **uno studio di dettaglio delle condizioni idrauliche in corrispondenza dello sbarramento, a monte ed a valle, costituisce un elemento fondamentale per un'adeguata progettazione dei passaggi per pesci.**

Innanzitutto andrà effettuata una ricostruzione dell'andamento medio delle portate in arrivo alla traversa (basato su misure dirette o adeguati metodi idrologici) e di quelle rilasciate/defluite nell'alveo immediatamente a valle della stessa (ossia al netto dei prelievi, in funzione dell'esercizio dell'opera di presa).

Tale ricostruzione dovrà consentire di identificare almeno i valori delle portate medie mensili a monte ed a valle dello sbarramento in modo che tali condizioni idrauliche possano essere messe in relazione al periodo migratorio atteso per le diverse specie ittiche del corso d'acqua.

Dovranno inoltre essere individuati i valori massimi e minimi del regime idrologico rispetto ai quali andrà garantito il corretto funzionamento del passaggio.

Sicuramente andrà approfondita l'identificazione dei suddetti valori massimi e minimi nell'ambito specifico dei diversi periodi migratori che interessano l'ittiofauna locale, facendo riferimento a quanto precedentemente indicato per i periodi critici relativi alle diverse sub-aree e tipologie di riferimento.

In ogni caso però, dal momento che comunque generalmente sono da attendersi spostamenti dell'ittiofauna lungo il corso d'acqua lungo l'intero arco dell'anno, la funzionalità del passaggio andrà garantita in modo continuo ed a tal fine è opportuna una ricostruzione della curva di durata delle portate.

Generalmente si escludono gli estremi del regime idrologico, ossia i periodi di piena del corso d'acqua e quelli di magra estrema, in cui tendenzialmente l'ittiofauna non compie migrazioni significative.

In Germania il range di portata rispetto al quale va garantito il corretto funzionamento idraulico dei passaggi per pesci è Q_{30} - Q_{330} , ossia, con riferimento alla curva di durata delle portate, vengono escluse condizioni idrologiche che mediamente si manifestano per circa 2 mesi all'anno.

Cautelativamente è però opportuno valutare singolarmente ogni caso, esaminando anche i valori estremi, massimi e minimi della curva di durata delle portate, soprattutto in funzione di dove, mediamente, tendono a collocarsi nell'arco dell'anno. Se da tale analisi emerge l'interessamento dei periodi migratori dell'ittiofauna del corso d'acqua in esame si dovrà approfondire l'analisi e valutare l'opportunità che il passaggio funzioni correttamente anche in tali condizioni idrologiche.

Cautelativamente si può considerare come **limite superiore**, rispetto al quale va garantito il corretto funzionamento idraulico del passaggio, un valore di portata dell'ordine di grandezza compreso tra la Q_{10} e la Q_{30} , ossia che viene superato per soli 10-30 giorni all'anno.

Per quanto ai minimi, nel caso di derivazioni, va certamente esaminata nel dettaglio la situazione relativa al rilascio del DMV ed a eventuali modulazioni, in quanto tali condizioni idrologiche usualmente rappresentano la situazione più ricorrente nel corso dell'anno a valle dello sbarramento. In ogni caso sarà opportuno esaminare anche la porzione inferiore della curva di durata delle portate, considerando come **limite inferiore** per il corretto funzionamento del passaggio un valore di portata di magra pari alla Q_{355} . Ove il valore di DMV sia inferiore alla Q_{355} l'analisi andrà estesa sino alla Q_{365} .

Oltre a considerare i suddetti valori (Q medie mensili e relativi estremi, Q_{10} e Q_{355} , etc.), nel caso di sbarramento funzionale ad una derivazione andranno presi in esame anche i valori base dell'operatività del prelievo; in particolare, indicando con Q_T la portata in arrivo da monte alla traversa e con Q_{dermax} la portata massima derivabile, saranno da analizzare con particolare attenzione le condizioni idrologiche a monte ed a valle (al netto del prelievo) della traversa nei 3 seguenti scenari, specificandone le relative durate: $Q_T \leq DMV$; $DMV + Q_{dermax} \geq Q_T > DMV$; $Q_T > Q_{dermax}$.

Una volta individuato il range delle portate rispetto al quale andrà garantita la piena operatività del passaggio si dovrà procedere alla determinazione dei corrispondenti livelli in alveo a monte ed a valle dello sbarramento.

In particolare sarà opportuno individuare i valori dei livelli idrometrici che si determinano a monte ed a valle dell'ostacolo sia in relazione alle diverse portate medie mensili nei 12 mesi dell'anno idrologico medio (se i dati idrologici a disposizione lo consentono, è opportuno individuare anche i valori massimi e minimi delle medie mensili almeno nei periodi migratori), sia in relazione ai valori estremi minimo e massimo precedentemente identificati (Q_{355} e Q_{10} - Q_{30}) che nei tre scenari operativi di cui sopra.

Particolare attenzione andrà dedicata a determinare il livello di valle corrispondente al rilascio del DMV (situazione più ricorrente).

Per effettuare tale determinazione nel caso di ostacolo non collegato a derivazione o ad organi di regolazione sarà necessario disporre almeno di un rilievo del manufatto e delle sezioni d'alveo di valle; si procederà quindi a ricostruire la scala di deflusso correlata alla tipologia di manufatto, identificando i livelli idrometrici corrispondenti al transito sulla soglia di sfioro delle diverse portate rappresentative di cui sopra, ed allo stesso modo si ricostruirà la scala di deflusso correlata alla geometria d'alveo di valle. Tale ricostruzione potrà eventualmente essere realizzata con maggiore dettaglio mediante l'utilizzo di modelli idraulici (ad es. monodimensionali in moto permanente come HEC-RAS ovvero con modelli 2-3D).

Nel caso di opere di derivazione o sbarramenti regolati con organi idraulici la ricostruzione andrà condotta considerando le diverse condizioni operative che possono presentarsi nella gestione degli organi di regolazione in corrispondenza delle suddette condizioni idrologiche. In molti casi sarà

possibile ricostruire agevolmente l'andamento dei livelli di monte, in quanto essi sono regolati tramite gli organi idraulici per mantenerli in un range di variazione adeguato all'utilizzo della risorsa ed è talora possibile disporre di una consistente serie di dati relativi a registrazioni in continuo dei livelli idrometrici di monte (oggetto di monitoraggio da parte dei gestori). Viceversa assai raramente i livelli idrometrici di valle sono oggetto di monitoraggio e sarà dunque necessario ricostruirli secondo le modalità indicate in precedenza (scala deflusso, modelli idraulici) sulla base del rilievo della geometria d'alveo nel tratto in esame.

Una volta che siano stati individuati i livelli idrometrici di monte e di valle in corrispondenza delle portate medie mensili, dei valori minimo e massimo della curva di durata (ossia delle condizioni idrologiche per le quali va assicurato il corretto funzionamento del passaggio) e dei 3 scenari operativi dell'eventuale derivazione si dovrà specificare il range massimo di variazione degli stessi a monte ed a valle ($H_{montemax}$, $H_{montemin}$, $H_{vallemax}$, $H_{vallemin}$). In relazione all'ampiezza di tale possibile fluttuazione nell'arco dell'anno andranno quindi valutate le tipologie progettuali e gli accorgimenti operativi che consentiranno di mantenere il passaggio in continuità con l'alveo garantendo all'ittiofauna di trovare accesso ed uscita anche in occasione di tali condizioni "estreme".

A tal fine, come precedentemente accennato, potrà rivelarsi necessario ricorrere alla realizzazione di accessi multipli che garantiscano la fruibilità del dispositivo nelle varie condizioni. In ogni caso lo sviluppo del passaggio dovrà coprire l'intero dislivello massimo $DH = H_{montemax} - H_{vallemin}$.

Tali valori dei livelli dovranno essere oggetto di adeguate rappresentazioni grafiche nelle tavole di progetto del passaggio.

6. Passaggi naturalistici

La trattazione di dettaglio delle principali tipologie di passaggi applicabili nel contesto regionale parte necessariamente dai passaggi naturalistici, in quanto essi rappresentano sempre la **prima opzione** da considerare (dopo la valutazione della possibile rimozione del manufatto) quando si intende realizzare un dispositivo per il ripristino della continuità del corso d'acqua.

In particolare l'opzione ottimale, ove fattibile, è la realizzazione di un canale by-pass, ossia di un piccolo corso d'acqua artificiale in aggiramento allo sbarramento.

I passaggi naturalistici sono vie d'acqua per pesci progettate rispettando le caratteristiche di un naturale tributario o di un tratto del corso d'acqua e possono pertanto essere considerati, in qualche misura, interventi di riqualificazione fluviale in quanto ricostruiscono una porzione dell'habitat fluviale interrotto dal manufatto. In sostanza ristabiliscono la continuità fluviale tra monte e valle dello sbarramento attraverso un ramo simile ad un piccolo torrente oppure, in altri casi, costituiscono delle vere e proprie rampe in pietrame, che imitano rapide o tratti a pendenza del corso d'acqua, in totale o parziale sostituzione degli sbarramenti.

Nei passaggi naturalistici l'energia dell'acqua viene dissipata come in un corso d'acqua naturale, grazie ad un'adeguata scabrezza del fondo ottenuta mediante l'opportuna disposizione sul fondo e sulle sponde di massi, pietrame ed altro materiale sciolto.

Tali dispositivi, ed in particolare la tipologia del canale by-pass, il cui percorso può essere realizzato sinuoso e meandrizato con le sponde del passaggio ricolonizzabili dalla vegetazione, rappresenta quindi la migliore soluzione per ripristinare la continuità del corso d'acqua, anche perché lungo il proprio percorso può fornire disponibilità di habitat per l'ittiofauna ed i macroinvertebrati acquatici.

Le pendenze di fondo utilizzate sono usualmente limitate e variano mediamente lungo il percorso del passaggio tra l'1% ed il 4% e quindi garantiscono condizioni idrodinamiche superabili da parte di tutte le specie; le pendenze possono comunque raggiungere anche valori di circa il 6% se il passaggio viene realizzato sotto forma di bacini successivi con soglie in massi, in analogia ai passaggi di tipo tecnico. Nel caso di canali by-pass le pendenze di fondo di alcuni tratti del percorso sono comunque molto limitate o anche nulle (formazione di "pools"), costituendo zone di calma in cui l'ittiofauna può sostare durante la risalita.

Le limitate pendenze medie generalmente utilizzabili per garantirne la fruibilità da parte delle diverse specie ittiche richiedono una discreta disponibilità di spazi per sviluppare l'intero percorso del passaggio. Tale disponibilità per i canali by-pass, usualmente operanti su pendenze ridotte (<2-3%), è richiesta lungo la sponda su cui viene realizzato il dispositivo, mentre per le bottom

ramp e le fish ramp (rampe in pietrame realizzate rispettivamente per tutta la larghezza del corso d'acqua o per una sua porzione) lo sviluppo del manufatto avviene in alveo.

Pertanto i canali by-pass generalmente non richiedono interventi sullo sbarramento, ma la movimentazione di rilevanti volumi di terreno e la sistemazione delle sponde del passaggio per garantirne la stabilità e la fruibilità (inclusa la realizzazione di attraversamenti sul passaggio per consentire l'accesso allo sbarramento per eventuali operazioni di manutenzione dello stesso e degli organi ivi insediati), mentre le bottom ramp e le fish ramp necessitano l'intervento diretto (demolizioni parziali) sul manufatto in alveo per la creazione di una sezione di deflusso per la portata del passaggio, ed il riporto di materiale in alveo per la realizzazione della rampa.

6.1. Bottom ramp

Le bottom ramp sono rampe in pietrame realizzate per tutta la larghezza del corso d'acqua caratterizzate da pendenze ed accorgimenti progettuali che le differenziano dalle classiche rampe di stabilizzazione del fondo (principalmente mediante pendenze di fondo minori), in modo da renderle fruibili per la risalita dell'ittiofauna.

La messa in opera di materiale eterogeneo consente di realizzare un'ampia varietà di percorsi per il deflusso della corrente che imita la diversità di un corso d'acqua naturale, fornendo diverse opzioni per la risalita alle diverse specie ittiche.

Tale tipologia progettuale è usualmente impiegabile per l'adeguamento di briglie e soglie di sistemazione di fondo o, più raramente, sbarramenti di derivazione privi di organi di regolazione; la realizzazione del passaggio per l'intera larghezza infatti presuppone generalmente che l'intera portata in arrivo da monte defluisca attraverso il passaggio.

Le pendenze medie usualmente impiegate sono del 2-4% con altezze superabili usualmente non superiori a 2-3 m, soprattutto per considerazioni di tipo economico dal momento che va prevista la posa in opera di materiale lungo l'intera estensione trasversale dell'ostacolo con sviluppo a valle a bassa pendenza (con conseguente necessità di impiego di elevati volumi di materiale).

La bottom ramp può essere realizzata immediatamente a valle del manufatto da adeguare, ovvero inserita in sostituzione dello stesso. Indicativamente la prima soluzione risulta la più conveniente in quanto richiede esclusivamente minimi interventi di demolizione del manufatto, usualmente sul coronamento in zona centrale, in modo che si realizzi una gaveta centrale dedicata al deflusso delle portate più ridotte.

Usualmente sono individuabili 3 tipologie realizzative di bottom ramp:

Rockfill (a massi dispersi): strutture flessibili realizzate in massi sciolti di pezzatura eterogenea (selezionando il diametro minimo in funzione della stabilità dello stesso per eventi di piena) in cui vanno incorporati elementi di maggiori dimensioni; lo spessore complessivo deve essere almeno

pari al doppio del massimo diametro impiegato; può essere messa in opera anche senza diversione dell'alveo, ma va assicurata la posa a valle di materiale che stabilizzi il fondo per una lunghezza di circa 3-5 m.

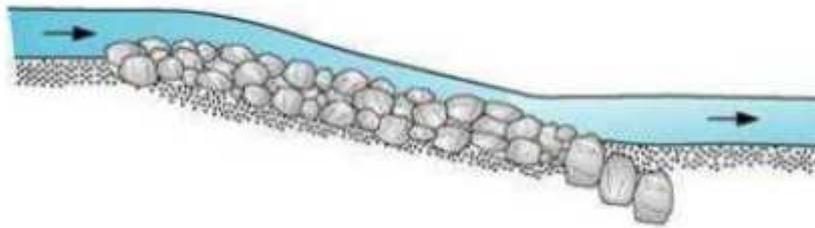


Figura 25. Esempio di rockfill bottom ramp (da Gebler, 2007)

Embedded boulders (a massi immorsati): strutture rigide realizzate immorsando nel fondo alveo massi di elevate dimensioni (boulders, diametro 0,6-1,2 m), su un layer di fondo in ghiaia e ciottoli opportunamente dimensionato; la struttura è ulteriormente stabilizzata mediante setti trasversali realizzati con palancolate o micropali o altre tecniche di consolidamento realizzabili mettendo l'alveo in asciutta; il funzionamento idraulico è analogo alla tipologia precedente.

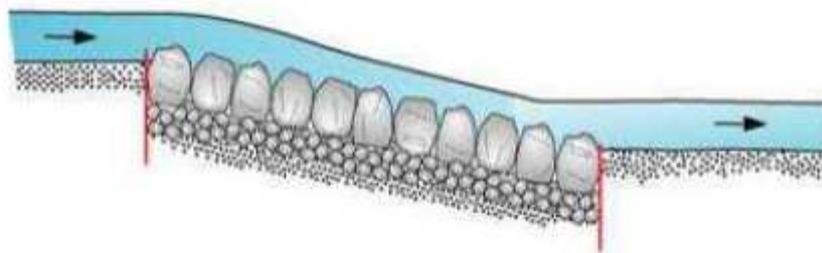


Figura 26. Esempio di embedded boulders bottom ramp (da Gebler, 2007)

Boulder bars (a soglie in massi): strutture realizzate in analogia ai passaggi tecnici a bacini successivi (pool and weir), creando soglie mediante l'immorsamento nel fondo alveo di massi di elevate dimensioni (boulders, diametro 0,6-1,2 m), con il deflusso da un bacino all'altro tramite gli spazi lasciati tra i massi; il dislivello totale viene suddiviso in più dislivelli minori, tra un bacino ed il successivo, che devono sempre risultare $\leq 20-25$ cm; le soglie devono essere "permeabili", ossia garantire il deflusso della corrente attraverso gli spazi e le fenditure (almeno 20-30 cm) lasciate libere tra massi affiancati; va prevista la posa di un layer di fondo eterogeneo opportunamente dimensionato; il funzionamento idraulico ed il dimensionamento dei bacini segue le regole dei passaggi tecnici; questa tipologia consente la realizzazione di pendenze di fondo più elevate (5-6%) rispetto alle tipologie precedenti; profondità minima dell'acqua nei bacini di almeno 30-50 cm e distanza tra le soglie di 2-2,5 m sono valori usualmente impiegati; è opportuno che gli stramazzi non siano a vena libera ma parzialmente rigurgitati. Rappresenta la tipologia di bottom ramp preferibile, specialmente per sbarramenti di altezza $\geq 1,5$ m.

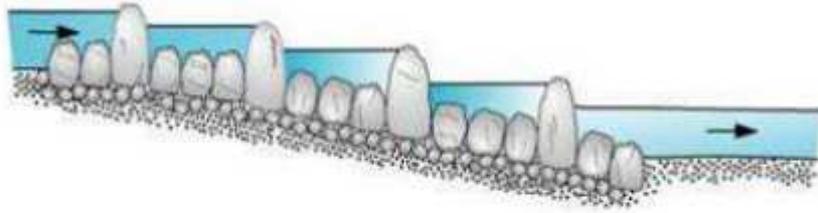


Figura 27. Esempio di boulder bars bottom ramp (da Gebler, 2007)

La suddetta schematizzazione non è rigida, e va certamente adattata alle condizioni sito specifiche; spesso possono essere realizzate soluzioni intermedie che integrano fra loro peculiarità diverse delle tre tipologie costruttive. Spesso le soglie delle boulder bars vengono realizzate in modo irregolare, non rettilineo, ("ad alveare") per fornire un'ulteriore eterogeneità dei percorsi sfruttabili nella risalita.



Figura 28. Esempio di boulder bars bottom ramp con soglie "ad alveare" ed "irregolari" (da Gebler, 2007)

In ogni caso è opportuno assicurare che le fenditure tra le soglie in massi siano realizzate in modo che il deflusso attraverso di esse venga "intercettato" e dissipato dalla soglia immediatamente a valle, in modo da limitare la velocità della corrente, che altrimenti potrebbe defluire a valle creando filoni rettilinei non agevolmente percorribili dall'ittiofauna.

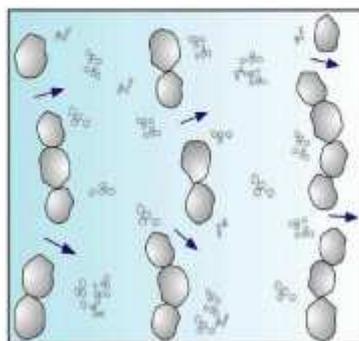


Figura 29. Schema generale di disposizione delle sezioni di deflusso tra soglie in massi successive (da Gebler, 2007)

Soprattutto per le tipologie rockfill ed embedded boulders, è opportuno che la sezione trasversale della rampa abbia un lieve gradiente trasversale (ossia sezione "a V"), in modo che:

- le portate più basse non si disperdano lungo l'intera larghezza del manufatto, garantendo la formazione lungo l'asse centrale della rampa di un tirante idrico minimo fruibile dall'ittiofauna;
- per portate più elevate, al formarsi di velocità più elevate in zona centrale, l'ittiofauna riesca a trovare gradienti di velocità più accettabili spostandosi progressivamente verso le zone laterali della sezione idrica.

Nella figura seguente si riporta un esempio schematico di realizzazione di bottom ramp sistemata con boulder bars, anch'essa con sezione "a V".

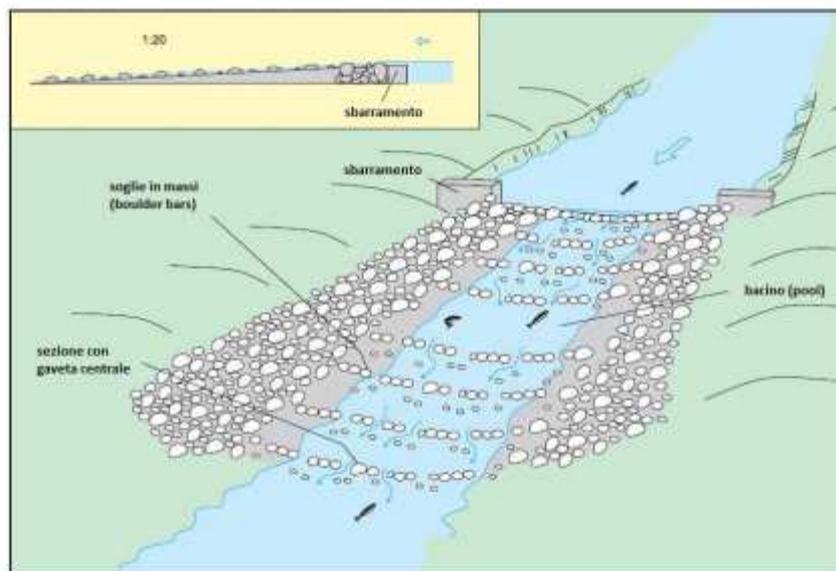


Figura 30. Schema concettuale di bottom ramp (da Thorncraft e Harris, 2000, modificato)

La tipologia boulder bars (a soglie in massi) è sicuramente da ritenersi preferibile alle altre soprattutto nel caso di superamento di ostacoli con altezza $\geq 1,5$ m, in quanto consente all'ittiofauna in risalita la sosta nei vari bacini successivi, requisito di meno agevole attuazione per le altre tipologie di rampa; inoltre per il relativo dimensionamento possono venire utilizzate le formulazioni tipiche ormai consolidate dei passaggi pool and weir.

In ogni caso, per tutte le tipologie illustrate la disposizione dei massi e la corretta formazione di tiranti idrici e velocità adeguate alle capacità natatorie dell'ittiofauna va verificata durante la realizzazione delle rampe e può richiedere adattamenti successivi.

Recentemente, a seguito di test di laboratorio eseguiti dal gruppo di ricerca di Larinier (2004), si sta sviluppando una tecnica di realizzazione delle rampe mediante la posa in opera di boulders immorsati nel fondo alveo distribuito omogeneamente a "quinconce", ad interasse regolare tra ogni singolo boulder, in cui la dissipazione della corrente avviene tra file successive di boulders, come

evidenziato nella seguente figura. I massi agevolano la rimonta del pesce, realizzando profili idraulici costituenti veri proprio "corridoi migratori", nei quali il pesce preferenzialmente nuota o trova riparo a seconda di velocità e turbolenza che si sviluppano nella rampa; tale soluzione non determina la formazione di bacini, pertanto il pelo libero dell'acqua lungo tutta la rampa si uniforma su una pendenza costante per la portata ottimale di dimensionamento.

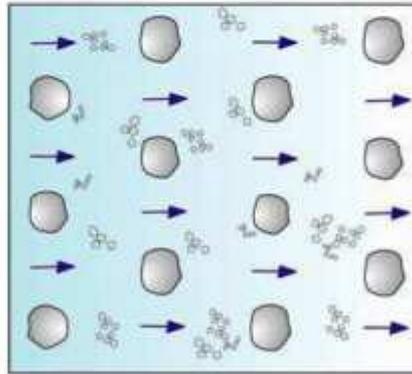


Figura 31. Schema generale di boulders omogeneamente distribuiti (Gebler, 2007)

6.2. Fish ramp

Le fish ramp sono rampe in pietrame che interessano solo parzialmente la larghezza dello sbarramento da adeguare; a differenza delle bottom ramp, che usualmente vengono impiegate per sistemare ostacoli senza derivazione, nelle fish ramp solo una quotaparte della portata in arrivo alla traversa viene impiegata per alimentare il passaggio (ad es. DMV o sua frazione). Anche in questo caso l'obiettivo è quello di simulare le condizioni idrauliche che possono ritrovarsi in un corso d'acqua (rapida o tratto a pendenza più elevata di quella dell'alveo principale).

La fish ramp va integrata direttamente nell'ostacolo, procedendo usualmente con un intervento di parziale demolizione del coronamento del manufatto esistente per realizzare una sezione dedicata al deflusso delle portate assegnate al passaggio. Indicativamente tale sezione andrà dimensionata, nel caso di traverse con opera di presa, per i valori di portata che mediamente viene rilasciata a valle per più giorni consecutivi nell'anno (ad es. DMV o sua frazione), facendo sfiorare sulla rimanente porzione del coronamento le portate residue (ad es. in occasione di morbide). In generale si utilizzano sezioni di larghezza pari almeno a 2 m, con pendenza media del 2-4%, arrivando a valori più elevati nel caso di realizzazione a bacini successivi con soglie in massi (boulder bars); i tiranti idrici anche in questo caso dovranno orientativamente essere almeno pari a 30-40 cm.

Per la localizzazione della fish ramp valgono le considerazioni specificate nel capitolo dedicato alla corretta ubicazione del passaggio, considerando che in questo caso lo sviluppo del dispositivo è

previsto in alveo, usualmente in adiacenza ad una sponda, con il lato verso il centro alveo, separato da quest'ultimo mediante un setto/muro in cls.

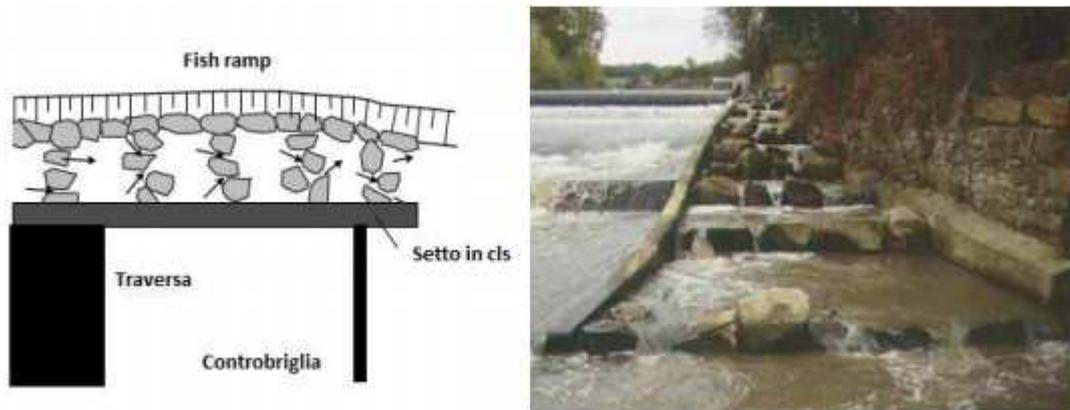


Figura 32. Schema ed esempio di fish ramp (da DVWK, 2002, modificato)



Figura 33. Fish ramp con boulders omogeneamente distribuiti sul fiume Magra (foto Pini Prato)

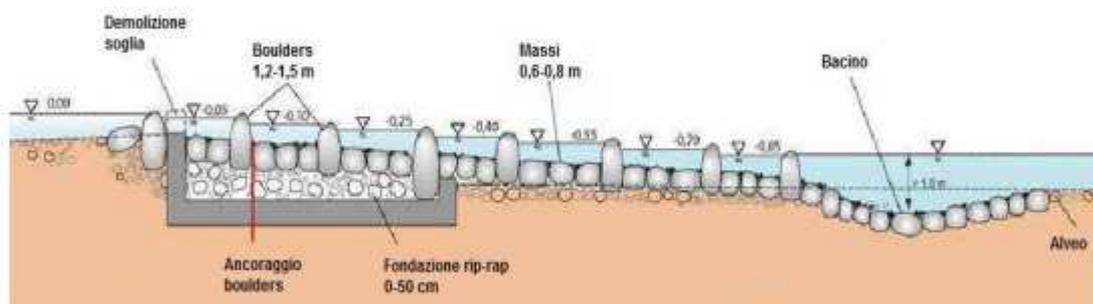


Figura 34. Profilo di sistemazione di fish ramp con boulder bars (da Gebler, 2007, modificato)

Si evidenzia che per questa tipologia di passaggio, a differenza della bottom ramp che coinvolge l'intera larghezza dell'alveo, va comunque posta particolare attenzione alla corretta ubicazione dell'imbocco di valle; infatti le limitate pendenze della fish ramp (analoghe a quelle delle bottom ramp) richiedono uno sviluppo a valle dello sbarramento che può essere anche di diverse decine di metri; mentre per le bottom ramp ciò non rappresenta un problema perché la rampa "ingloba"

l'ostacolo integralmente, per le fish ramp sussiste il rischio di localizzare troppo a valle dell'ostacolo l'imbocco del passaggio rispetto al piede dello sbarramento, inficiandone così la fruibilità.

Qualora l'altezza dello sbarramento da superare possa determinare tale problematica, va innanzitutto considerata la possibilità di ridurre la lunghezza della rampa utilizzando la tipologia costruttiva a boulder bars, ossia realizzando una serie di bacini successivi del tipo pool and weir che consente di operare con pendenze di fondo del 5-6%.

Inoltre, se l'alveo è di limitata larghezza, potrà essere valutata l'opportunità di realizzare a valle dello sbarramento una soglia in massi non valicabile dall'ittiofauna ($H = 40-50$ cm) disposta in modo da indirizzare l'ittiofauna verso l'imbocco del passaggio, impedendo l'ulteriore risalita in alveo verso il piede dello sbarramento esistente.

Qualora quanto sopra non sia applicabile, un'ulteriore tecnica può consistere nell'evitare uno sviluppo rettilineo del passaggio, facendolo ripiegare su sé stesso con un percorso tale da consentire di posizionare l'imbocco di valle al piede dello sbarramento, come schematicamente rappresentato nella figura seguente. Nel cambio di direzione è necessario prevedere un bacino di ampie dimensioni che funga da zona di calma intermedia durante il percorso di risalita.

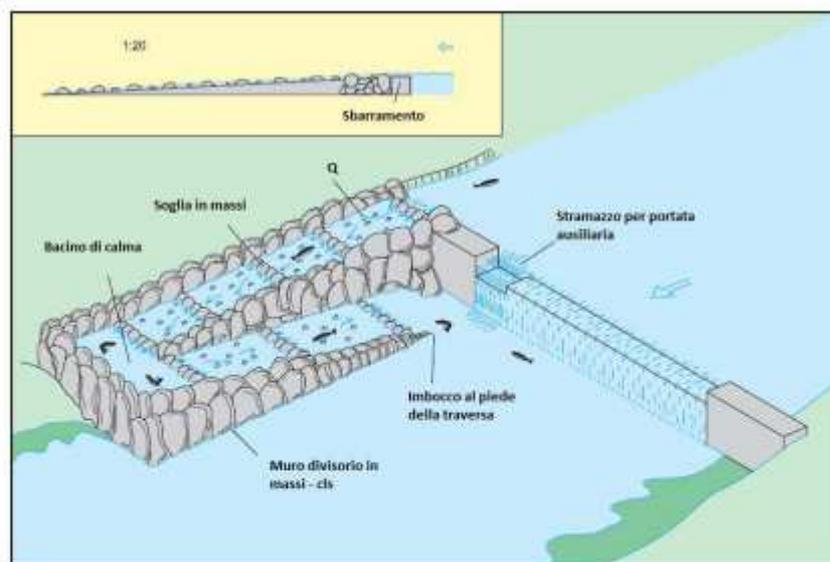


Figura 35. Schema concettuale di fish ramp a percorso ripiegato (da Thorncraft e Harris, 2000, modificato)

Rispetto allo schema grafico di cui sopra si evidenzia che ai fini della stabilità del manufatto i muri laterali e di separazione tra tratti del passaggio in adiacenza andranno preferibilmente realizzati in cls; inoltre, ove possibile, è sempre preferibile che l'imbocco di valle del passaggio determini un deflusso verso valle, per garantire un'adeguata velocità ed attrattività della portata in uscita dal passaggio: nell'esempio in figura la criticità è compensata con l'introduzione di una portata ausiliaria mediante stramazzo realizzato sul coronamento della traversa in prossimità del

passaggio (andranno comunque adottati gli accorgimenti già citati necessari ad un'adeguata dissipazione dell'energia cinetica della corrente ausiliaria, in modo da evitare che il risalto idraulico e la turbolenza ed ossigenazione della vena stramazante mascherino l'accesso al passaggio).

Un ulteriore possibile accorgimento è rappresentato dall'arretramento a monte dell'estremo di monte del passaggio: il passaggio viene così mantenuto con sviluppo lineare rettilineo, ma traslato verso monte in modo da ubicare l'imbocco per la risalita al piede dello sbarramento; tale soluzione è praticabile unicamente per soglie o briglie di sistemazione di fondo, in cui non vi è un invaso a monte, e richiede interventi significativi di demolizione del manufatto preesistente (il fondo del passaggio in corrispondenza del coronamento dello sbarramento ovviamente risulta nettamente più approfondito rispetto alle soluzioni precedenti).

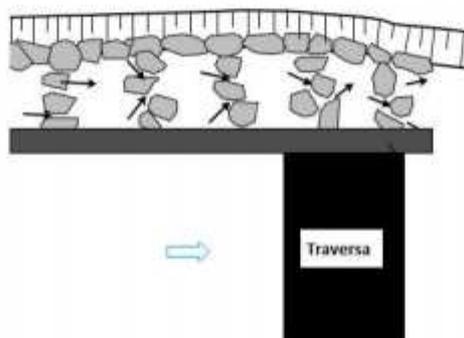


Figura 36. Arretramento a monte della fish ramp (da DVWK, 2002, modificato)

Un'ulteriore soluzione alternativa, specie per l'eventuale realizzazione del passaggio presso soglie o briglie di sistemazione d'alveo, può essere la realizzazione di una fish ramp che al di sopra di certi valori di portata si attivi anche tramite una pendenza laterale verso l'alveo per tutta la lunghezza del passaggio, come rappresentato nella figura seguente.

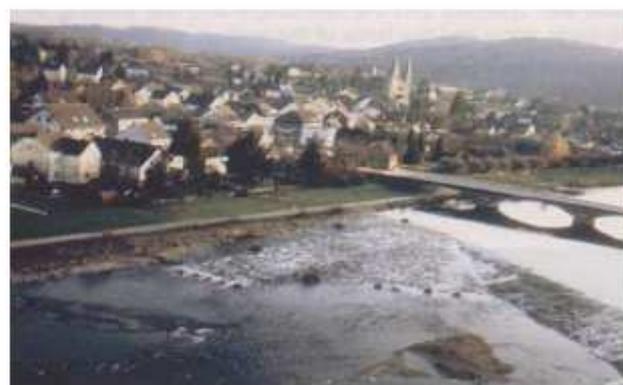
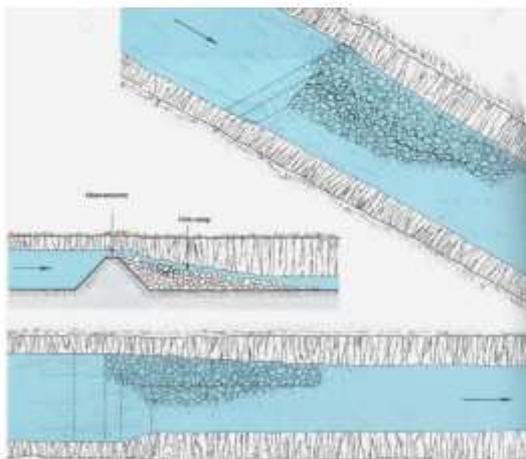


Figura 37. Schema di fish ramp (da FAO, 1998, modificato) ed esempio di realizzazione (da DVWK, 2002)

In generale la tipologia di fish ramp maggiormente utilizzata è quella a soglie in massi (boulder bars) che suddivide l'ostacolo da superare in più bacini successivi. Tale soluzione permette di operare con pendenze più elevate, e quindi con costi più contenuti. Spesso viene proposta in sostituzione dei passaggi tecnici pool and weir, utilizzando larghezze inferiori ai 2 m, e divenendo di fatto un passaggio tecnico in cui i setti, anziché in cls o altro materiale, sono realizzati in massi (boulders). In tal caso, dal momento che il deflusso da un bacino al successivo non può essere esattamente regolato come invece nel caso di setti con fenditure e stramazzi in cls, le condizioni di deflusso nel passaggio dovranno essere adeguatamente testate nella fase di realizzazione, potendo richiedere anche una serie di aggiustamenti successivi.



Figura 38. Realizzazione di fish ramp con boulder bars (foto Gorchach)

In generale le fish ramp sono strutture sensibili alle variazioni dei livelli idrici di monte e va sempre assicurato che un aumento dei tiranti non determini velocità eccessive nel passaggio; ciò viene usualmente garantito dimensionando opportunamente la sezione di monte in modo che all'aumento della portata in arrivo allo sbarramento la portata in eccesso rispetto a quella assegnata al passaggio possa defluire lungo l'intero coronamento dello sbarramento.

In ogni caso è preferibile prevedere che il deflusso da un bacino al successivo avvenga mediante fenditure verticali libere realizzate tra i boulders, meno sensibili alle variazioni di livello rispetto agli stramazzi. Anche in questo caso è opportuno verificare adeguatamente le condizioni idrodinamiche del deflusso tra bacini adiacenti, garantendo che avvenga esclusivamente attraverso le fenditure/stramazzi "di progetto" ed evitando che vi sia invece uno stramazzo lungo l'intero coronamento delle soglie in massi (eccessiva turbolenza nei bacini).

Infine, nel caso di rampe non realizzate con soglie in massi (boulder bars), è opportuno prevedere, in analogia con quanto già indicato per le bottom ramp, una sezione "a V" oppure con pendenza

trasversale verso un lato, di modo che per basse portate permanga comunque una sezione di deflusso con tiranti fruibili dall'ittiofauna, mentre per portate superiori le specie con capacità natatorie meno spiccate possano utilizzare le porzioni laterali della sezione bagnata, in cui si realizzeranno valori di velocità più contenuti rispetto al filone centrale della corrente defluente attraverso il passaggio.

6.3. Canali by-pass

I canali by-pass sono dei canali artificiali realizzati imitando le caratteristiche di un corso d'acqua naturale, che aggirano lo sbarramento con un percorso a bassa pendenza, consentendo il ripristino della continuità tra monte e valle e creando al contempo lungo il loro percorso habitat fruibili per la fauna acquatica. Si configurano quindi come veri e propri interventi di riqualificazione fluviale potenzialmente adatti a superare qualsiasi ostacolo. Generalmente non richiedono alcun intervento strutturale sullo sbarramento e possono essere realizzati con tecniche costruttive a basso costo tipiche dell'ingegneria naturalistica. Possono essere realizzati in modo da consentire anche il passaggio di canoe e kayak.

Il principale problema connesso alla loro realizzazione è correlato alla necessità di ampi spazi sulla sponda del corso d'acqua in cui si intende inserire il canale by-pass, a causa delle limitate pendenze di fondo (valori massimi usualmente inferiori al 2-3%).

Un'ulteriore problematica da considerare è il fatto che, nel caso di utilizzo per adeguamento di ostacoli con altezza superiore ai 3-4 m, la necessità di realizzare l'imbocco di valle in prossimità dello sbarramento (punto più a monte raggiungibile dall'ittiofauna) può comportare importanti interventi di sbancamento nella sponda in quanto il canale by-pass risulterà molto approfondito rispetto al piano campagna, e successivi interventi di sistemazione e consolidamento dei versanti (preferibilmente con tecniche di ingegneria naturalistica) anche per un significativo tratto del percorso del passaggio. Va prevista la movimentazione (riutilizzo in loco o trasporto) di elevati volumi di materiale di risulta degli scavi.

Non va trascurato che generalmente sussiste la necessità di realizzare degli attraversamenti (ponti) sul canale by-pass per consentire l'accesso allo sbarramento per eventuali operazioni di manutenzione dello stesso e degli eventuali organi ivi insediati. Nella valutazione della relativa fattibilità va inoltre verificata la possibilità che in caso di eventi di piena si possa creare una via di deflusso preferenziale lungo il percorso del canale by-pass, con conseguenti problemi per la stabilità dello sbarramento; in tal caso andrà prevista la realizzazione di adeguati organi di regolazione presso l'estrema sezione di monte del passaggio, anche ai fini di eventuali messe in secca per interventi di manutenzione, eventuali paratoie andranno tenute costantemente aperte (salvo in caso di utilizzo di cui sopra), evitando la formazione di deflusso in pressione (luce sotto battente).

Nonostante i suddetti elementi potenzialmente critici, la soluzione del canale by-pass va considerata sempre come la migliore opzione praticabile, ove tecnicamente fattibile.

In analogia ai corsi d'acqua naturali è opportuno creare una significativa diversità morfologica e conseguentemente una variabilità di condizioni idrodinamiche lungo il percorso del passaggio, in modo da incrementarne ulteriormente la fruibilità da parte della fauna ittica. In generale è opportuno alternare tratti a bassa pendenza con tratti a pendenza più elevata, inserendo preferibilmente rapide alternate a pozze (pools); l'analisi di torrenti e corsi d'acqua minori presenti nel bacino idrografico in cui si opera può fornire ottimi spunti per la progettazione. In particolare la metodologia Mesohabsim costituisce un ottimo riferimento per la progettazione di canali by-pass in quanto può fornire gli elementi necessari alla realizzazione di un percorso con una buona varietà di ambienti (mesohabitat) con elementi idromorfologici che garantiscano, in funzione della portata di progetto, la formazione di habitat idonei ed ottimali per le diverse specie presenti, ed anche per i loro stadi vitali giovanili.

Usualmente la larghezza minima del canale by-pass è compresa tra 0,8-1,2 m, e la profondità media dell'acqua superiore ai 30 cm, con portata di almeno 100 l/s per metro di larghezza e velocità medie della corrente intorno agli 0,4-0,6 m/s.

Il fondo del canale deve essere preferibilmente realizzato impiegando materiale d'alveo, ed usualmente è sufficiente la posa di materiale d'alveo eterogeneo, eventualmente posato su di uno strato di geotessile per evitare il drenaggio nel terreno (va sempre verificata, ovviamente, la possibilità che il deflusso si mantenga integralmente nel canale by-pass prevedendo eventuali accorgimenti costruttivi per l'impermeabilizzazione del fondo, che escludano l'uso di cls).

Le sezioni devono variare di forma e dimensioni lungo il percorso, diversificandole anche con l'inserimento di massi singoli e/o soglie in massi per modificare le condizioni idrodinamiche locali (l'inserimento di tali elementi consente di realizzare tratti a maggiore pendenza mantenendo la stabilità del canale e velocità di corrente sostenibili per la risalita); il canale deve preferibilmente essere realizzato in forma sinuosa, cercando di imitare le condizioni di un alveo indisturbato; è opportuno che le sponde del passaggio possano essere colonizzate dalla vegetazione o che siano piantumate con specie appartenenti all'orizzonte vegetazionale locale, in modo da assicurare un migliore inserimento paesaggistico, contribuire con l'apparato radicale alla stabilizzazione delle sponde e fornire ombreggiatura al canale by-pass.

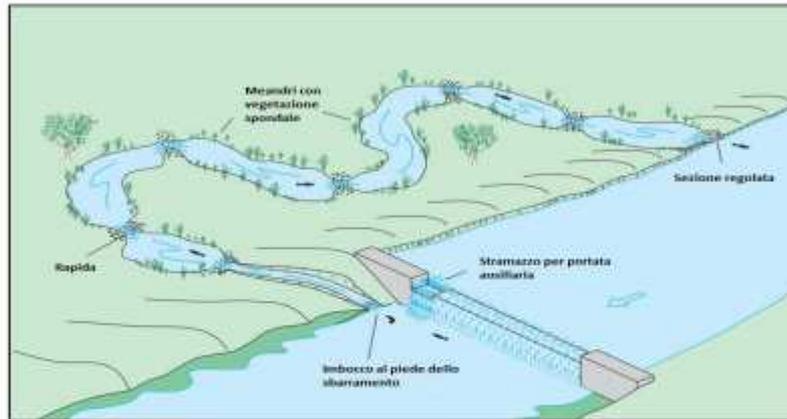


Figura 39. Schema concettuale di canale by-pass (da Thorncraft e Harris, 2000, modificato)

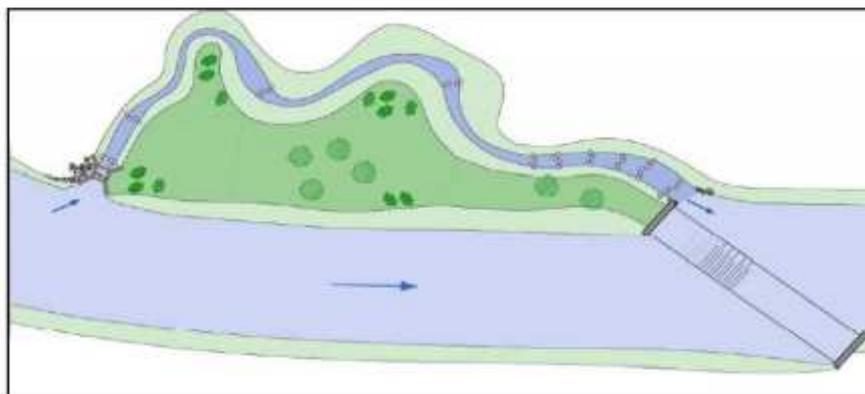


Figura 40. Schema concettuale di canale by-pass (da Zitek, 2011)

Qualora a monte dello sbarramento non vi sia sufficiente spazio disponibile per sviluppare il percorso del canale by-pass, esso può essere generalmente sviluppato a valle, per poi ripiegare il percorso verso monte, in modo da localizzarne l'imbocco al piede dell'ostacolo, come evidenziato nella figura seguente.



Figura 41. Esempio di canale by-pass con percorso sviluppato a valle dello sbarramento e ripiegato verso il piede dello sbarramento (da Gebler, 2007)

Nel caso di variazioni significative dei livelli di monte e/o di valle, il canale by-pass può essere integrato nelle sue porzioni di monte e/o di valle con tratti di tipo tecnico inserendo una serie di bacini del tipo vertical slot, collegati tramite fenditure verticali (ovvero con setti in massi del tipo boulder bars).

Ove necessario, potranno essere previste uscite di monte multiple.

A valle il tratto terminale del passaggio può essere separato dall'alveo con una struttura in cls che fa defluire la portata in alveo unicamente attraverso una profonda fenditura verticale, come rappresentato nell'esempio della figura seguente; come già specificato in precedenza, tale soluzione è finalizzata a garantire l'attrattività del passaggio, anche al variare dei livelli di valle.



Figura 42. Canale by-pass con bacino finale collegato all'alveo mediante fenditura verticale (da Gebler, 2007)

In ogni caso il tratto terminale di valle è usualmente caratterizzato da una pendenza più elevata rispetto alla pendenza media del passaggio anche al fine di creare una adeguata corrente di attrazione che possa essere identificata più facilmente nell'alveo a valle dell'ostacolo al variare dei livelli idrici.

Nel dimensionamento idraulico andranno esaminate nel dettaglio le condizioni idrodinamiche nelle sezioni critiche, ossia nei tratti a maggiore pendenza ed in quelli in cui la sezione bagnata è ridotta (per l'inserimento di massi singoli o soglie in massi), verificando che non siano mai superati valori di velocità della corrente di 1,5-2 m/s. I tratti realizzati a bacini successivi con soglie in massi andranno dimensionati, come già indicato in precedenza, secondo le formulazioni di dimensionamento dei passaggi tecnici pool and weir.



Figura 43. Canale by-pass con soglie in massi in fase di realizzazione (da Gebler, 2007)



Figura 44. Fish ramp con boulders omogeneamente distribuiti, in fase di realizzazione (foto Pini Prato)

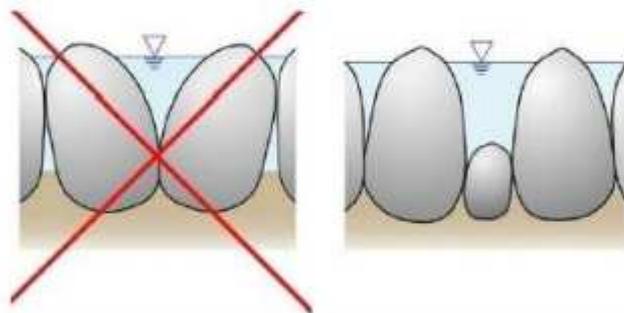


Figura 45. Modalità di realizzazione sezioni di deflusso tra boulder bars (da Zitek, 2011, modificato)

In tutti i casi, per tutte le tipologie di passaggio naturalistico, i dimensionamenti idraulici in fase di progettazione vanno considerati unicamente come valori preliminari da verificare durante la relativa realizzazione e messa in esercizio; ciò è dovuto principalmente all'eterogeneità dei materiali usati ed alla diversità delle sezioni e condizioni di deflusso lungo il percorso, per le quali

la scelta dei coefficienti di deflusso e dei valori di scabrezza è necessariamente approssimata rispetto ai valori usuali derivanti da sperimentazioni in laboratorio.

E' quindi sempre indispensabile condurre delle verifiche durante la fase realizzativa e dei successivi aggiustamenti verificando l'effettivo rispetto dei valori di velocità, tiranti idrici per differenti valori di portata nell'ambito del range di riferimento. Nell'ambito delle verifiche va verificata l'assenza di sezioni con livelli idrici molto bassi (< 20-30 cm), di zone ad elevata turbolenza e di stramazzi non rigurgitati; i valori massimi di velocità ammissibili solo puntualmente nell'ambito delle sezioni di deflusso più ristrette non devono superare i 2 m/s, e la differenza di livello tra bacini successivi non deve superare i 20 cm (massimo 25 cm nei casi particolari evidenziati in precedenza).

7. Passaggi tecnici

La trattazione dei passaggi tecnici viene riferita essenzialmente alle tipologie vertical slot e pool and weir, ossia ai passaggi a bacini successivi, che rappresentano la tipologia più utilizzata e diffusa a livello internazionale. Il principio sul quale si basa il funzionamento di un passaggio a "bacini successivi" consiste nella **ripartizione del dislivello totale tra il pelo libero di monte e quello di valle in una serie di dislivelli minori**, di uguale altezza, tramite una serie di vasche (pool) consecutive, divise tra loro da setti (in cls, legno, metallo, etc.) di particolari caratteristiche geometriche che consentono il deflusso della portata.

Il passaggio dell'acqua da una vasca all'altra può avvenire attraverso un orificio sommerso (submerged orifice), una fenditura verticale (vertical slot) o uno stramazzo rigurgitato (weir). Talora vengono utilizzati impianti ibridi, nei quali il passaggio dell'acqua (e quindi dell'ittiofauna) avviene associando uno o più orifici sommersi ad uno stramazzo (weir and orifice) o ad una fenditura laterale (deep side notch and submerged orifice).

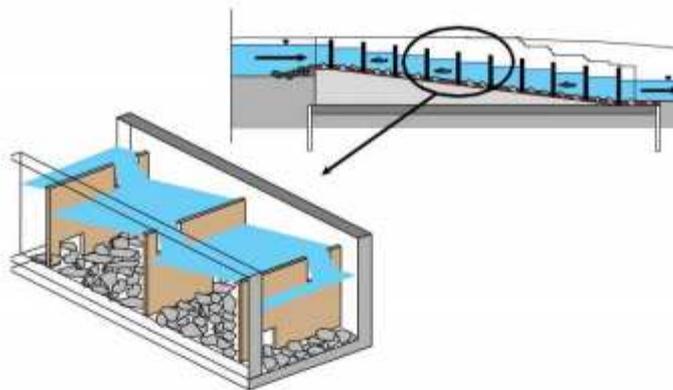


Figura 46. Profilo schematico e dettaglio di un passaggio a bacini successivi con stramazzi ed orifici alternati (da DVWK, 2002, modificato)

Il deflusso tra un bacino ed il successivo deve essere continuo, ossia vanno evitati stramazzi liberi, non rigurgitati: il pesce deve infatti poter nuotare da un bacino al successivo, senza ricorrere alla necessità di compiere salti. Questo è un requisito fondamentale, in quanto per molte specie il passaggio risulterebbe invalicabile. Inoltre la turbolenza generata da uno stramazzo libero nel bacino di valle determina una turbolenza tale da renderlo poco fruibile dal pesce.

A questo proposito va sempre verificato che nelle diverse condizioni idrometriche (range di variazione dei livelli di monte) la porzione superiore del setto che divide due bacini consecutivi non venga mai superata dall'acqua. Unica eccezione a tale requisito è l'eventuale rigurgito da valle di alcuni bacini che può occorrere presso l'imbocco di valle del passaggio nel caso di significativa fluttuazione dei livelli idrometrici in alveo.

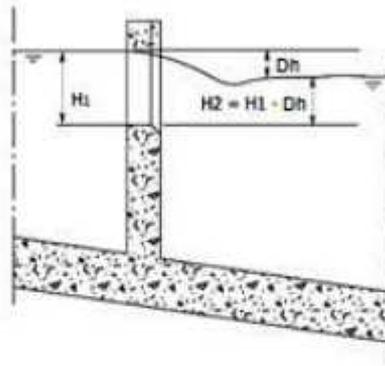


Figura 47. Sezione longitudinale di passaggio a bacini successivi con deflusso continuo ("streaming flow"): stramazzo riguritato (da Larinier et al., 2002, modificato)

Un altro elemento fondamentale da verificare accuratamente è che non vi sia afflusso idrico lungo il passaggio oltre a quello regolato mediante la geometria dei setti costituenti il passaggio a bacini successivi; in altri termini va garantito che in ogni condizione idrologica non vi siano sfiori, stramazzi, getti, etc. (ad es. sfioro da coronamento traversa o deflusso da sfioratore del canale di derivazione) che afferiscano ai bacini del passaggio in quanto ciò potrebbe alterare significativamente le condizioni idrodinamiche del passaggio impedendone la fruizione da parte dell'ittiofauna.

Il funzionamento idraulico dei passaggi è determinato dalla forma della connessione tra bacini successivi, dalle dimensioni dei bacini e dai livelli idrici. La lunghezza del bacino deve essere la dimensione maggiore ed essere sviluppata nella direzione del deflusso.

Minore è il dislivello tra un bacino ed il successivo (Dh), più agevole è la risalita dell'ittiofauna. Il dislivello determina il valore massimo della velocità dell'acqua tra due bacini mediante la formula:

$$V = (2 \cdot g \cdot Dh)^{0,5} \sqrt{2 \cdot g \cdot Dh} \quad [\text{m/s}]$$

in cui $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Pertanto dislivelli Dh pari a 25, 20, 15 e 10 cm determinano rispettivamente un valore massimo della velocità della corrente pari a 2,21, 1,98, 1,72 ed 1,40 m/s.

Alla luce di quanto sopra è opportuno prevedere nella progettazione di passaggi a bacini successivi (di tipo tecnico e di tipo naturalistico quali ad es. fish ramp con boulder bars) generalmente con un dislivello massimo Dh pari a 20 cm. Un Dh superiore, e comunque sempre ≤ 25 cm, può indicativamente essere ammesso solo in corsi d'acqua in cui la popolazione sia costituita esclusivamente da Salmonidi o dove le particolari condizioni locali non consentano la realizzazione di passaggi con lunghezze significative. Valori inferiori a 20 cm sono raccomandati in tratti pedemontani e di pianura a popolamento ittico polispecifico.

Un parametro fondamentale da verificare per la corretta progettazione è la **potenza volumetrica dissipata P_v** , calcolabile mediante la seguente formula:

$$P_v = \rho \cdot g \cdot Q \cdot D_h V \quad [W/m^3]$$

in cui:

ρ = densità dell'acqua = 1000 kg/m³

Q = portata defluente nel passaggio [m³/s]

V = volume d'acqua nel bacino [m³] = lunghezza·larghezza·profondità media

P_v è di fatto un indicatore della turbolenza e dell'aerazione all'interno di un bacino del passaggio e maggiore è il suo valore, maggiore è la difficoltà di passaggio da parte dell'ittiofauna.

Valori di P_v compresi tra 200 e 180 W/m³ sono da considerarsi il limite massimo ammissibile e vanno usati come riferimento esclusivamente per i Salmonidi. Normalmente per popolamenti polispecifici, ed in generale per i Ciprinidi reofili il limite di riferimento è in un intorno dei 150 W/m³. Tale valore va considerato come limite superiore nel caso di popolazioni composte prevalentemente da Ciprinidi limnofili, considerando un range tra 100 e 150 W/m³.

Usualmente, definito il valore di D_h ed il valore limite di P_v in funzione delle specie ittiche presenti ed il valore di portata da assegnare al passaggio, mediante la precedente formula è possibile definire il volume minimo d'acqua che deve essere presente in ogni bacino, e quindi le dimensioni di quest'ultimo.

Le dimensioni dei bacini vanno certamente tarate in funzione delle dimensioni massime degli esemplari di cui si attende la risalita, considerando indicativamente una lunghezza del bacino all'incirca pari a 3 volte la lunghezza massima del pesce.

Un ulteriore riferimento usualmente considerato nel definire la lunghezza dei bacini è il range 7+12·d, dove con d si intende, a seconda del tipo di passaggio, la larghezza della fenditura delle vertical slot, il tirante idrico sugli stramazzi delle pool and weir, la larghezza dell'orifizio nei passaggi ad orifizi sommersi. Usualmente la larghezza minima delle fenditure verticali e degli orifizi sommersi è di 20 cm e pertanto, come **lunghezza minima del bacino**, si può quindi considerare un valore di **1,4-1,5 m**; ove sia previsto il passaggio di Acipenseridi (storione) la lunghezza potrà invece raggiungere i 5-6 m ed oltre (ad es 9,3 m nel passaggio double vertical slot sul fiume Elbe a Geesthacht).

Come **valore minimo di profondità** nei bacini dei passaggi tecnici si assume un valore pari a **60 cm** (nelle fish ramp o canali by-pass sono invece usualmente accettabili anche valori inferiori).

Il numero di bacini da realizzare (n) dipende dal dislivello totale DH_{tot} nel range di variazione dei livelli definito per il corretto funzionamento del passaggio ($DH_{tot}=H_{montemax}-H_{vallemin}$) e dal dislivello tra due bacini successivi Dh :

$$n = (DH_{tot}/Dh)-1$$

Talora può essere necessario incrementare tale valore a seguito della verifica dei valori di Dh e velocità che si determinano in ciascun setto, effettuando i calcoli per le diverse condizioni di dislivello ($H_{monte}-H_{valle}$) attese nel corso dell'anno (livelli di monte e valle mensili, livelli di monte e valle per i valori massimi e minimi delle portate in alveo (Q_{355} e $Q_{10}-Q_{30}$) e per i 3 scenari operativi dei prelievi). Tale verifica dei valori di Dh e velocità che si determinano in ciascuno dei passaggi tra due bacini successivi nelle diverse condizioni idrologiche e operative va comunque sempre effettuata a supporto della corretta progettazione dell'opera.

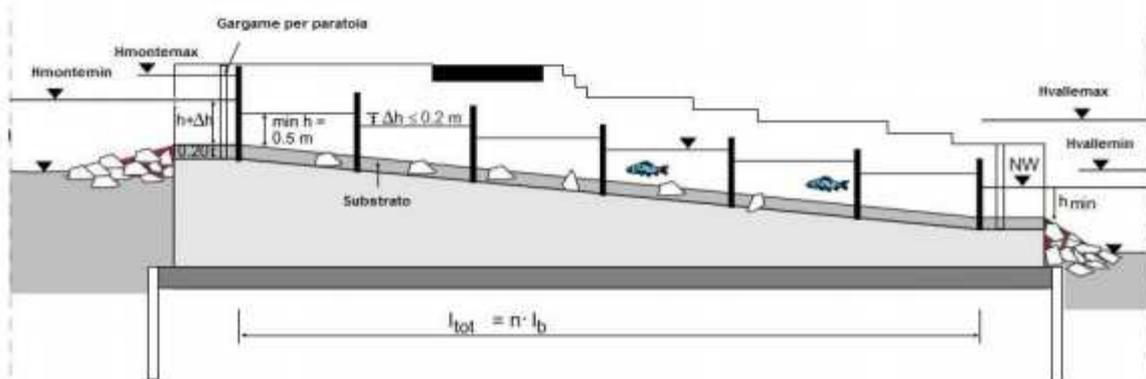


Figura 48. Profilo schematico di passaggio tecnico (da DVWK, 2002, modificato)

Il calcolo della portata defluente tra un bacino ed il successivo si basa sulle seguenti formulazioni:

Portata attraverso orifizio sommerso:

$$Q=Cd \cdot S \cdot (2 \cdot g \cdot Dh)^{0,5} \quad [m^3/s]$$

in cui:

S = area dell'orifizio sommerso [m^2]

Cd = coefficiente di deflusso = tra 0,65 (profilo non arrotondato) e 0,85 (se profilo arrotondato e liscio)

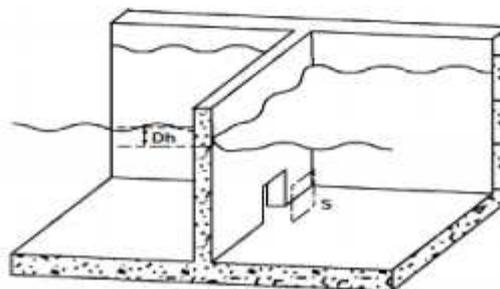


Figura 49. Deflusso attraverso orifizio sommerso (da Larinier et al., 2002, modificato)

Portata attraverso fenditura verticale (vertical slot):

$$Q = C_d \cdot b \cdot H_1 \cdot (2 \cdot g \cdot D_h)^{0.5} [\text{m}^3/\text{s}]$$

in cui:

b = larghezza della fenditura [m]

C_d = coefficiente di deflusso = tra 0,65 (profilo non arrotondato) e 0,85 (se profilo arrotondato e liscio)

H_1 = carico totale a monte della fenditura [m]

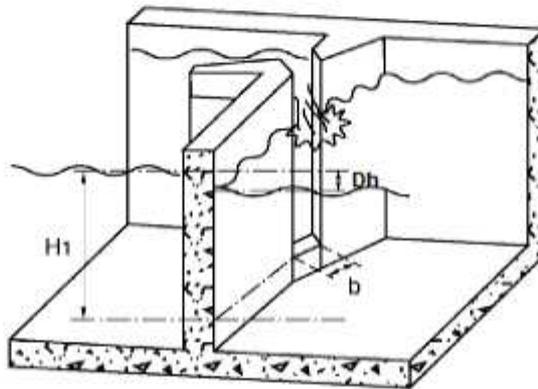


Figura 50. Deflusso attraverso fenditura verticale (da Larinier et al., 2002, modificato)

Portata attraverso stramazzo rigurgitato:

$$Q = k \cdot Q_d$$

$$k = (1 - (1 - D_h/H_1)^{1.5})^{0.385}$$

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot (2 \cdot g \cdot H_1)^{0.5} \cdot H_1^{1.5} [\text{m}^3/\text{s}]$$

in cui:

b = larghezza dello stramazzo [m]

C_d = coefficiente di deflusso = 0,4 (tra 0,33, profilo non arrotondato, e 0,5, arrotondato e liscio)

H_1 = carico totale a monte sullo stramazzo [m]

k = coefficiente di riduzione dovuto alla sommersione

La formulazione è applicabile quando il livello nel bacino di valle è superiore al livello della soglia dello stramazzo, e per un moderato livello di sommersione calcolabile in base al rapporto tra il carico totale a valle ed a monte sullo stramazzo $H_2/H_1 < 0,9$, con $H_2 = H_1 - D_h$

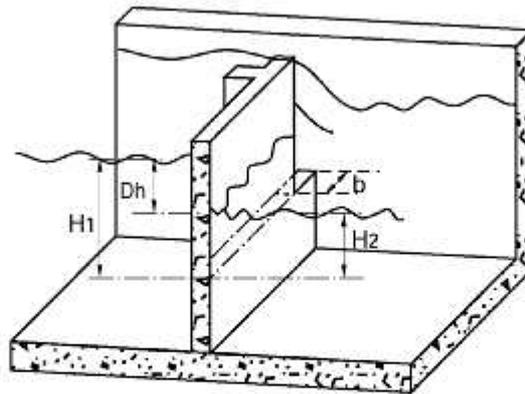


Figura 51. Deflusso attraverso stramazzo rigurgitato (da Larinier et al., 2002, modificato)

Le suddette formulazioni sono basate su studi di laboratorio e misure effettuate in condizioni indisturbate e quindi la relativa precisione andrà verificata in sede di realizzazione del passaggio; tra i fattori critici che possono influenzarne la precisione vi è sicuramente la scelta del coefficiente di deflusso C_d da utilizzare.

In conclusione, i valori calcolati in sede di progettazione andranno opportunamente verificati in campo mediante specifici monitoraggi in diverse condizioni idrologiche. Questa precauzione è ulteriormente significativa nel caso in cui si intenda realizzare passaggi naturalistici (fish ramp, canali by-pass) sotto forma di passaggi a bacini successivi mediante la realizzazione di soglie in massi (boulder bars).

Rispetto ai passaggi naturalistici, i passaggi tecnici permettono di operare su pendenze più accentuate e di limitare pertanto la lunghezza del passaggio. La realizzazione in cls consente altresì di poter meglio "collegare" il passaggio alla struttura da adeguare e di contenere le dimensioni generali dell'opera. Laddove il dislivello totale da superare richieda lunghezze non trascurabili del passaggio, al fine di poter ubicare l'imbocco immediatamente a valle dello sbarramento, è possibile far sviluppare il percorso del dispositivo ripiegandolo su sé stesso di 180° anche più volte.

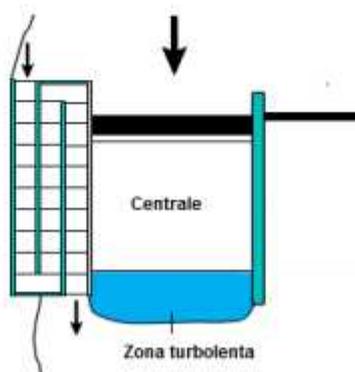


Figura 52. Esempio di passaggio tecnico ripiegato "folded" (da DVWK, 2002, modificato)



Figura 53. Esempio di passaggio vertical slot e di passaggio pool and weir ripiegato (foto Pini Prato)

I bacini nei cambi di direzione dovranno avere dimensioni maggiori rispetto a quelli immediatamente successivi nel percorso lineare; per tali bacini il valore di potenza volumetrica dissipata P_v dovranno essere sensibilmente inferiori rispetto agli altri ed indicativamente rientrare nel range 100-150 W/m^3 .

Un recente studio (Marriner et al., 2014) propone per il dimensionamento di tali bacini di utilizzare la medesima lunghezza L dei bacini immediatamente precedente e successivo al cambio di direzione, prolungando il setto che separa le due "rampe" per una lunghezza pari a $0,6 \cdot L$, come evidenziato nella figura seguente.

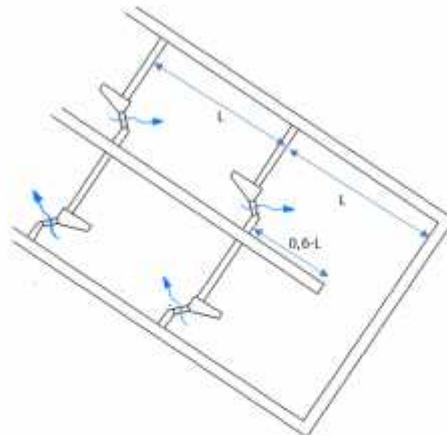


Figura 54. Esempio di dimensionamento di bacino di cambio direzione in un passaggio vertical slot

Nel caso di superamento di dislivelli significativi ($> 2-3$ m) è inoltre sempre raccomandabile inserire lungo il percorso del passaggio dei bacini di lunghezza maggiore indicativamente ogni 1,5 m di dislivello superato, in modo da realizzare zone di riposo a bassa turbolenza e velocità dell'acqua per la sosta degli esemplari in risalita.

Come già illustrato in precedenza la migliore tipologia di passaggio tecnico a bacini successivi è quello a fenditure verticali (vertical slot) originariamente sviluppato nel 1961 per garantire la risalita dei salmoni lungo le rapide dell'Hell's Gate sul fiume Fraser in British Columbia (Canada): tale tipologia è caratterizzata da una interconnessione tra i bacini tramite una (o due) profonda fenditura laterale sviluppata per tutta la profondità del bacino e sempre posizionata dal medesimo lato del passaggio. Questa tipologia è particolarmente adatta quando si hanno non trascurabili variazioni dei livelli idrici (a monte e/o a valle), situazione che invece può determinare criticità nel funzionamento dei passaggi di tipo pool and weir.

La vertical slot è da considerarsi come la migliore opzione nel caso di passaggio tecnico (così come i canali by-pass tra i passaggi naturalistici).

Il passaggio a fenditure verticali è generalmente fruibile da tutte le specie ittiche in quanto nella fenditura, specie se il fondo è realizzato con un substrato di materiale d'alveo eterogeneo, si crea un gradiente di velocità che consente il nuoto a più profondità, consentendo anche alle specie con minori capacità natatorie di trovare zone idonee alla loro risalita.

Le vertical slot sono inoltre soggette a limitati problemi dovuti alla sedimentazione del materiale trasportato a valle dalla corrente rispetto alla tipologia pool and weir, in quanto il deflusso attraverso la fenditura verticale le rende sostanzialmente autopulenti, ossia il trasporto solido tende a defluire progressivamente a valle.

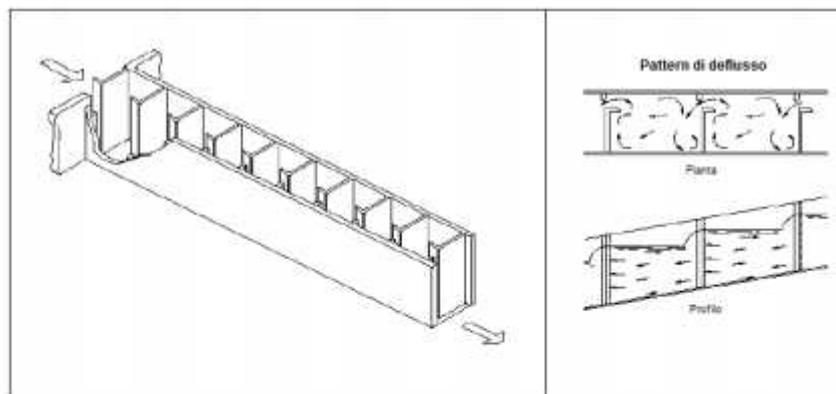


Figura 55. Schema di vertical slot (da Katopodis, 1992, modificato)

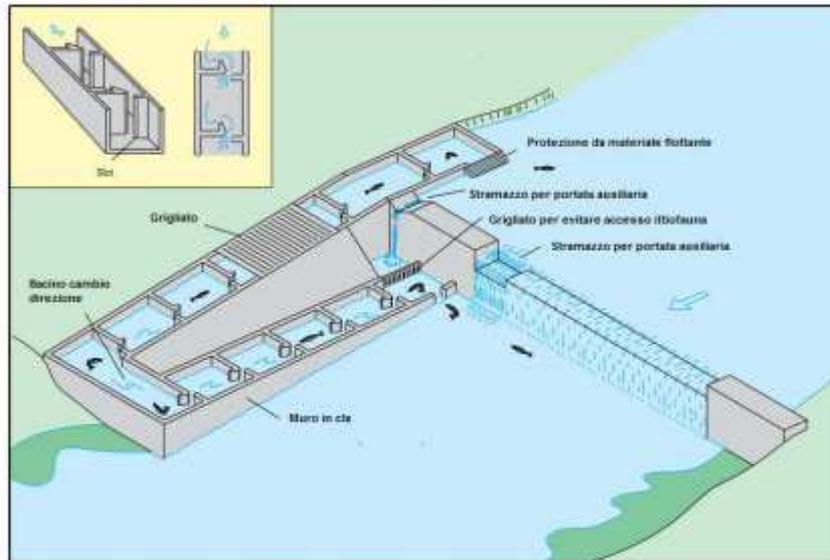


Figura 56. Schema concettuale di vertical slot (da Thorncraft e Harris, 2000, modificato)

Il funzionamento idraulico delle vertical slot presenta caratteristiche particolari rispetto alle altre tipologie di passaggio, in quanto il deflusso attraverso la fenditura si dirige diagonalmente verso il setto di valle, dove un deflettore determina un ricircolo del flusso idrico che produce la dissipazione dell'energia cinetica creando zone di calma immediatamente a valle del setto su entrambi i lati.

In alcuni casi i passaggi vertical slot vengono realizzati con due fenditure verticali, una per ciascun lato; con larghezze di ciascuna fenditura di almeno 45-50 cm e profondità dell'acqua di almeno 1,20 m, tali passaggi risultano adatti per la risalita delle cheppie, specie anadroma particolarmente esigente, purtroppo non più presente nel reticolo regionale piemontese.

In alcuni contesti (estuari di corsi d'acqua in Australia) sono state realizzate vertical slot anche con D_h limitatissimi, pari a 5 cm (velocità massima 0,99 m/s), per consentire la massima fruibilità del passaggio anche ad esemplari di ridottissime dimensioni.

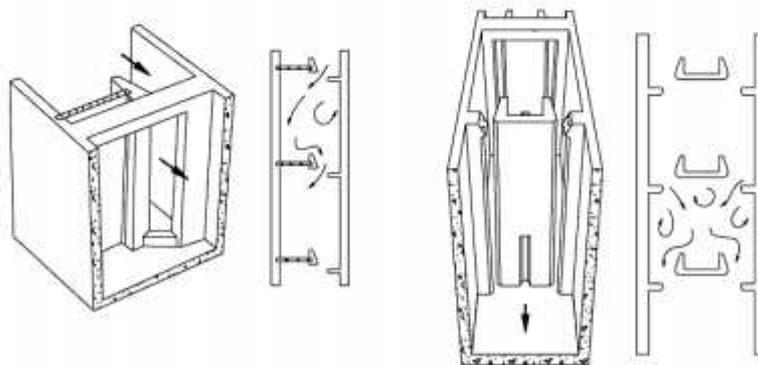


Figura 57. Schema di vertical slot singola e doppia (da Larinier et al., 2002, modificato)



Figura 58. Passaggio vertical slot con canale laterale per portata addizionale (foto Comoglio)

La lunghezza dei bacini delle vertical slot ad una sola fenditura è usualmente compresa tra 8 e 10 volte la larghezza della fenditura, mentre la larghezza del bacino è usualmente di circa 6-8 volte tale valore.

Nella figura seguente, derivante da test di laboratorio, vengono forniti alcuni valori di riferimento per il dimensionamento dei bacini e dei setti.

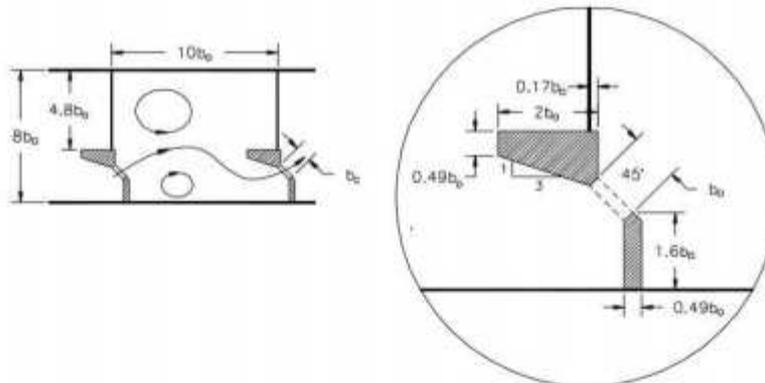


Figura 59. Dimensionamento bacini vertical slot (da Katopodis, 1992, modificato)

I passaggi pool and weir trovano invece applicazione quando le portate da far transitare sono basse (< 150 l/s), e pertanto la tipologia vertical slot risulta non idonea.

La tipologia costruttiva preferibile risulta comunque quella con stramazzi laterali profondi ed eventuali orifici (alternati come posizione anche tra setti successivi), sempre in ragione del fatto che sezioni di deflusso strette e profonde consentono una migliore flessibilità di esercizio anche a fronte di variazioni dei livelli. Generalmente a lato della fenditura può essere previsto un piccolo deflettore, orientato verso monte, per la stabilizzazione del deflusso. Per tale tipologia la lunghezza del bacino deve essere almeno 10 volte la larghezza della fenditura.

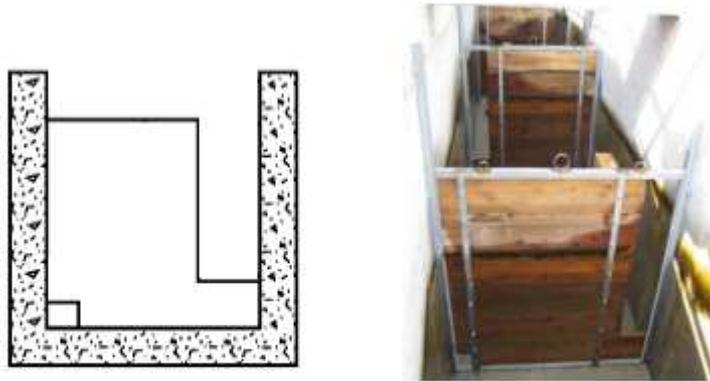


Figura 60. Schema di passaggio a fenditure ed orifici alternati (da Larinier et al., 2002, modificato) ed esempio con paratoie estraibili in legno (foto Pini Prato)

Il funzionamento dei passaggi pool and weir è infatti fortemente dipendente dalle variazioni dei livelli di monte e valle: stramazzi rettangolari poco profondi possono infatti essere messi in secca per bassi livelli di monte, ovvero al crescere di questi ultimi, oltre che lungo lo stramazzo può essere attivato il deflusso su tutta la larghezza del setto (situazione sempre da evitare) impedendo così il passaggio dell'ittiofauna a causa dell'eccessiva turbolenza determinata nel bacino di valle.

Visto il range di variazione dei livelli molto limitato, pari all'approfondimento della soglia dello stramazzo rispetto alla sommità del setto, l'impiego va usualmente limitato a sbarramenti con livelli di monte regolati e mantenuti sostanzialmente costanti nel tempo (ad es. traverse ad uso idroelettrico).

L'uso di orifici sommersi, dal punto di vista idraulico, costituisce di fatto una modalità per svincolarsi dagli effetti negativi dell'oscillazione dei livelli, ma di contro si presta ad un agevole intasamento da parte del materiale trasportato dalla corrente; di conseguenza esistono pochissimi passaggi tecnici in cui il deflusso tra bacini successivi avviene esclusivamente tramite orificio sommerso (questa soluzione può essere eventualmente impiegata in corsi d'acqua minori per la risalita di specie bentoniche, quali ad es. lo scazzone).

Per limitare i problemi connessi alla sedimentazione di materiale d'alveo ed all'occlusione di orifici e stramazzi, talora i setti vengono realizzati in metallo o metallo e legno, in modo da risultare estraibili, agevolando così le operazioni di manutenzione periodica (il materiale depositato può così essere agevolmente fatto defluire a valle).

Ove vi sia la necessità di transito di persone e mezzi si potrà opportunamente prevedere la predisposizione di una copertura con grigliato carrabile, in maniera simile a quanto illustrato nella figura seguente. Esso dovrà essere amovibile ed ispezionabile per eventuali attività di manutenzione o monitoraggio dell'ittiofauna in rimonta e può costituire un buon deterrente alla predazione da avifauna ittiofaga.



Figura 61. Grigliato su passaggio per pesci (da Rucker e Wittmann, 2005)



Figura 62. Grigliato su un passaggio per pesci in ambiente appenninico (Pini Prato, 2011)

8. Migrazione a valle (downstream migration)

La migrazione verso valle dell'ittiofauna e l'individuazione di misure che consentano il libero passaggio attraverso sbarramenti ed ostacoli è un argomento storicamente ignorato, sul quale solo recentemente la ricerca scientifica si sta muovendo nella ricerca di soluzioni adeguate, che comunque risultano essere significativamente più complesse dei passaggi per la risalita.

Il fenomeno stesso della migrazione a valle (specie e stadi vitali coinvolti, periodi) è praticamente assente nella ricerca scientifica in ambito nazionale e di conseguenza l'impatto che le opere in alveo e, soprattutto, le derivazioni hanno sull'ittiofauna che svalla/smonta è sostanzialmente ancora da valutare adeguatamente.

Indicativamente si può assumere che la migrazione verso valle avvenga usualmente nell'ambito delle migrazioni trofiche e di svernamento lungo il corso d'acqua, e che vi sia un fenomeno di svallamento post-riproduttivo per Salmonidi e Ciprinidi reofili, sia degli adulti riproduttori, che in seguito degli stadi giovanili. L'entità di questo fenomeno, le distanze percorse ed il periodo esatto rimangono tuttora elementi da studiare nel dettaglio.

La presenza di sbarramenti lungo il corso d'acqua può impedire totalmente la "downstream migration" o quantomeno determinare danni e mortalità all'ittiofauna nel passaggio a valle attraverso organi idraulici, stramazzi e turbine; inoltre è da considerare la mortalità ulteriore determinata dalla predazione (pesci o uccelli ittiofagi) nell'invaso (habitat non idoneo) ed a valle dello sbarramento e delle turbine (zone in cui l'ittiofauna è più esposta anche a causa dei traumi e/o del disorientamento conseguenti al passaggio a valle).



Figura 63. Predazione su anguilla danneggiata dalle turbine a valle di una centrale idroelettrica (da DWA, 2005)

Nel passaggio a valle da stramazzi a vena libera, usualmente la mortalità è molto limitata per salti anche di circa 10 m; maggiore è la lunghezza del pesce maggiore è il rischio di danni dovuti a tale passaggio per le velocità raggiunte nella caduta (una velocità di 15 m/s determina danni rilevanti).

La presenza di un tirante idrico adeguato al piede della traversa nelle zone in cui impatta la vena liquida stramazzone e l'assenza di strutture di dissipazione contro le quali può impattare il pesce costituiscono fattori di significativa riduzione del rischio di mortalità nel passaggio a valle.

Spesso si registra un'elevata mortalità presso i grigliati di imbocco dei canali di derivazione, dove tende a portarsi l'ittiofauna che migra a valle, seguendo il filone principale della corrente. La presenza di grigliati e la velocità dell'acqua talora superiori a 0,5 m/s possono determinare un'elevata mortalità per gli esemplari che non sono in grado di risalire lungo il canale di derivazione o di passare oltre il grigliato (verso però le turbine, nel caso di derivazione idroelettrica). Una volta intercettata la sezione del grigliato il pesce tenderà a nuotare per allontanarsi verso monte risalendo la corrente che, qualora non sostenibile per le capacità natatorie del pesce, ne determina la mortalità per "schiacciamento" lungo il grigliato.



Figura 64. Test di laboratorio su salmoni; nuoto statico (=Vel corrente) a monte di un grigliato (da DWA, 2005)



Figura 65. Anguille (silver eels) raccolte da sgrigliatore su di un canale di derivazione (foto Calles)

Nel passaggio attraverso le turbine il pesce può essere colpito da parti mobili, sfregare sulle pareti delle tubazioni, essere sottoposto a forti accelerazioni o decelerazioni, a variazioni di pressione e cavitazione, con conseguente elevata mortalità. La mortalità varia in funzione delle specie coinvolte e delle dimensioni degli esemplari, nonché dal tipo di turbine installate, dal carico idrostatico e dalle condizioni operative dell'impianto. In letteratura si hanno valori di mortalità per stadi giovanili di salmonidi del 100% per le turbine Pelton, tra il 5% ed il 90% per le Francis e tra il 5 ed il 20% per le Kaplan.

Recentemente sono in via di sviluppo dei modelli di turbine "fish friendly" per la cui efficacia però è ancora necessario attendere definitive e consolidate evidenze scientifiche. In linea di massima può essere considerato raccomandabile l'utilizzo di tali turbine, ma è comunque da prevedere l'installazione di ulteriori dispositivi posti a monte delle stesse, finalizzati a impedire/limitare l'accesso dei pesci garantendo loro un percorso alternativo (by-pass) come di seguito descritto. In assenza di tali misure preventive andrà certamente prescritta l'effettuazione di un monitoraggio scientifico ad hoc sito-specifico e su base pluriennale volto a verificare l'effettiva mortalità connessa al passaggio attraverso tali turbine delle diverse specie.



Figura 66. Esempi di mortalità da passaggio attraverso turbine (da DWA, 2005)

Un elemento fondamentale da considerare è che, come nel caso della risalita, il pesce tende a muoversi a valle seguendo il filone principale della corrente.

Ciò significa che nel caso di prelievi idrici generalmente (ad eccezione di condizioni in cui la portata in arrivo da monte ecceda sensibilmente il valore della portata massima derivabile, durante la quale si attivano gli sfiori lungo la traversa) il pesce tenderà a dirigersi verso il canale di derivazione. Tale comportamento fa sì che spesso i passaggi realizzati per la risalita, sia per le limitate portate sia per l'ubicazione talora molto distante dallo sbarramento, possano non essere efficacemente fruiti dall'ittiofauna che svalla. Di conseguenza, nella gran parte dei casi sarà necessario realizzare dei dispositivi ad hoc.

Nel caso di sbarramenti senza derivazione (e nel caso di sfiori della portata in eccesso dalle traverse a servizio di canali di derivazione) può ritenersi sufficiente verificare la presenza di un adeguato tirante idrico a valle e l'assenza di elementi sui quali l'ittiofauna può impattare durante il deflusso (o caduta nella vena d'acqua, considerando un salto massimo sui 10 m) a valle.

La tecnica che va adottata nel caso di derivazioni (ad es. idroelettriche) è quindi quella di impedire che l'ittiofauna si diriga verso le turbine, indirizzandola verso un by-pass che la conduca a valle o comunque verso un percorso sicuro (sfiori, etc.). Nonostante numerose e varie proposte di soluzioni tecniche, ancora da validare scientificamente in quanto ad efficacia (ad es. barriere elettriche, acustiche, etc.), attualmente l'approccio più corretto da seguire è quello di indirizzare l'ittiofauna verso un sistema di by-pass a valle mediante una specifica barriera fisica.

La principale barriera fisica consiste nel ridurre lo spazio libero tra le barre del grigliato posto a monte del canale derivatore o della vasca di carico in modo che il pesce non possa passarvi attraverso.

Come ordine di grandezza teorico va considerata una luce libera non superiore ad $1/8 - 1/10$ della lunghezza del pesce. Sono però accettabili valori della luce libera tra le barre inferiori a 4 cm (preferibilmente anche $< 2-2,5$ cm). Le barre vanno realizzate non a spigolo vivo, ma a sezione arrotondata, in modo da non danneggiare l'ittiofauna che può venire a contatto con la griglia.

Al contempo si deve assicurare che la velocità della corrente contro il grigliato sia inferiore alla velocità di crociera del pesce ($V_{cr} = 0,15 + 2,4 \cdot L$ [m/s], dove L = lunghezza del pesce in metri), in modo che esso possa nuotare liberamente senza rimanere schiacciato contro il grigliato e trovare l'imbocco del by-pass.

Velocità della corrente inferiori a 0,4-0,5 m/s sono generalmente accettabili.

Un ulteriore accorgimento per migliorare l'efficacia della barriera fisica (griglia) è quella di realizzarla con un'inclinazione che indirizzi l'ittiofauna, che tende a nuotare verso il punto più a valle, verso l'imbocco del by-pass. Una soluzione ottimale (vedi schema seguente) consiste nell'inclinare la griglia rispetto alla verticale, con un angolo $< 45^\circ$, tale che il vettore della componente della velocità tangenziale lungo il piano della griglia sia maggiore di quello normale, in modo che il pesce che avvicina tale ostacolo tenda a nuotare lungo tale piano, senza venire intrappolato contro la griglia, portandosi così verso la superficie, dove sarà stato opportunamente realizzato l'imbocco del canale by-pass.

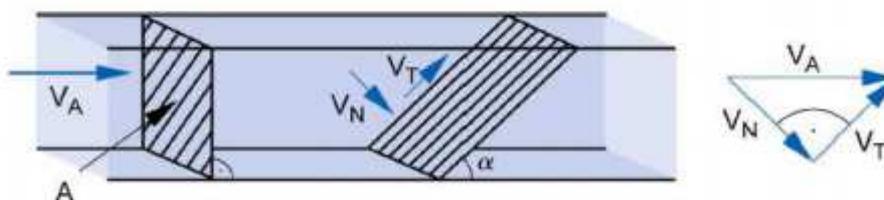


Figura 67. Inclinazione della griglia rispetto alla verticale (da DWA, 2005)

Grazie a questo accorgimento, che determina vettori di velocità paralleli al piano della griglia maggiori di quelli ortogonali ad essa, possono risultare accettabili velocità della corrente V_A anche superiori al valore di 0,5 m/s. Questa considerazione è di particolare utilità nel caso di opere

esistenti in cui possono risultare non fattibili adeguamenti sul canale di derivazione (allargamento della sezione) volti a limitare i valori della velocità della corrente in arrivo da monte. Inoltre, con la suddetta inclinazione, viene mitigato il problema delle perdite di carico attraverso la griglia con barre ad interasse ridotto. L'imbocco del by-pass deve quindi essere ubicato in adiacenza alla griglia, nel punto in prossimità della superficie in cui il pesce tende ad aggregarsi.

In diversi casi il by-pass può essere realizzato adeguando opportunamente eventuali preesistenti sezioni di deflusso presenti a monte della griglia, usualmente regolate da paratoia piana, utilizzate per fluitare a valle il materiale flottante accumulatosi (in superficie) ovvero per dissabbiare il canale di adduzione (al fondo); queste ultime risultano particolarmente adatte al passaggio a valle delle anguille.



Figura 68. Adeguamento di opera di presa mediante la realizzazione di 2 by-pass ad altezze differenti (da Larinier, 2002)

Al fine di evitare fenomeni di disturbo e mascheramento dell'accesso al by-pass superficiale dovuti ad eventuali vortici, l'imbocco stesso viene talora fatto "sporgere" verso il canale grazie a piastre metalliche arrotondate, che al contempo determinano un richiamo della corrente nel by-pass con una progressiva accelerazione, come evidenziato nella figura seguente.



Figura 69. Esempio di struttura metallica per imbocco di monte del canale by-pass (da DWA, 2005)

L'imbocco del canale by-pass può inoltre essere posizionato direttamente all'interno della griglia, mediante apposite aperture realizzate nella griglia nella porzione superiore della sezione bagnata.

Di seguito si riportano alcuni schemi esemplificativi delle possibili soluzioni adottabili per l'ubicazione del by-pass:

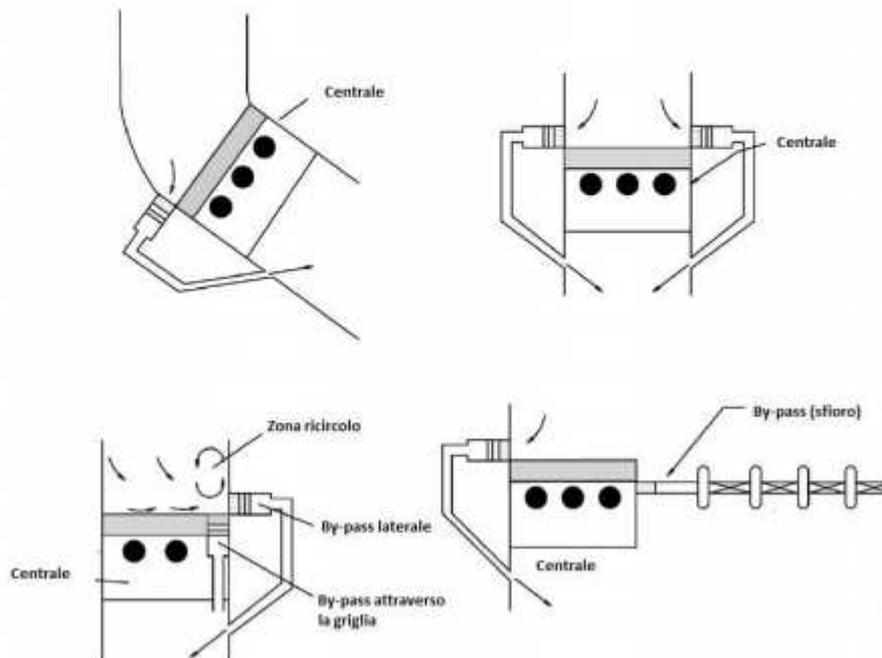


Figura 70. Possibili ubicazioni del canale by-pass (da Larinier, 2002, modificato)

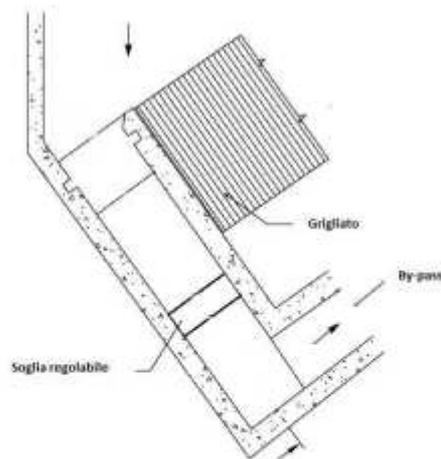


Figura 71. Canale by-pass parallelo alla griglia con soglia di sfioro regolabile (da Larinier, 2002, modificato)

Le dimensioni consigliate del by-pass definite mediante studi su salmoni sono: larghezza almeno 50 cm, profondità dell'acqua almeno 40 cm, portata compresa tra il 2 ed il 10% della portata transitante nel canale.

Successivamente all'imbocco, il canale by-pass usualmente va realizzato a pelo libero, con materiale a pareti lisce (minima scabrezza) e non deve avere lungo il percorso elementi che

possano danneggiare il pesce, né determinare bruschi cambi di direzione e variazioni di pressione; la velocità massima dell'acqua dovrà essere minore o uguale di 12 m/s.

Il rilascio a valle dovrà avvenire mediante caduta libera al di sopra della superficie dell'acqua, in quanto immissioni dirette incrementano significativamente il rischio di danni al pesce. Lo sbocco dovrà essere libero, ad un'altezza di solito cautelativamente prossima ai 2 m rispetto al pelo libero di valle (dove ci dovrà essere adeguata profondità dell'acqua ed assenza di strutture sulle quali il pesce possa impattare; sono comunque ammissibili valori ≤ 10 m).

Talora, ove applicabile, lo scarico del canale by-pass può essere impiegato come elemento volto ad incrementare l'attrattività dell'imbocco di valle di passaggi per la risalita.

Alla luce di quanto sopra un fondamentale elemento da verificare è ovviamente la possibilità di connettere il by-pass o con il canale di scarico delle turbine a valle della centrale o direttamente con l'alveo in cui viene restituita la portata turbinata.

Ove la configurazione dello schema idroelettrico non renda fattibile tale connessione (ad es. salto elevato, galleria in pressione, etc.) andrà evidentemente percorsa l'opzione di ubicazione del grigliato e del by-pass in prossimità dello sbarramento.

In conclusione si deve affermare che in ambito nazionale e regionale è necessario condurre specifiche ricerche per valutare l'entità del fenomeno della downstream migration e dell'impatto su di essa esercitato dalla presenza di sbarramenti esistenti, prima di definire regole e prescrizioni tecniche applicabili agli sbarramenti esistenti.

Una volta note le reali dimensioni del fenomeno e identificate le specie maggiormente impattate ed i siti maggiormente critici andranno esaminate, caso per caso, le più opportune soluzioni adottabili, anche alla luce della progressiva evoluzione delle conoscenze in questa specifica tematica, che risultano ancora essere ad uno stadio iniziale.

Per la realizzazione di nuovi sbarramenti ed impianti idroelettrici sarà invece opportuno prevedere, oltre ad una valutazione della popolazione ittica e delle relative esigenze generali in termini di migrazione a valle, la possibilità di applicare gli accorgimenti di carattere generale illustrati in precedenza, soprattutto in merito alla realizzazione di grigliati e canali by-pass conformi alle indicazioni relative a dimensioni, velocità e portate.

In particolare tale prescrizione potrà essere opportunamente applicata nel caso di richieste di recupero energetico del DMV.

9. Monitoraggio dei passaggi per pesci

Contestualmente alla progettazione di un passaggio per pesci va predisposto uno specifico **Piano di monitoraggio** (oltre al già richiamato Piano di manutenzione).

La finalità del Piano è duplice:

- verificare il rispetto dei parametri idraulici di progetto durante l'effettivo funzionamento del passaggio in diverse condizioni idrologiche;
- verificare l'effettivo passaggio dell'ittiofauna attraverso il dispositivo durante i periodi migratori.

Per quanto ai periodi in cui effettuare il monitoraggio dell'effettivo ripristino della continuità del corso d'acqua tramite il passaggio, si rimanda alla tabella in cui, per ciascuna zona delle tre subaree in cui è suddiviso il territorio regionale (Z1.1 pertinenza alpina occidentale sul versante padano, Z1.2 pertinenza alpina centrale sul versante padano, Z2.1 pertinenza appenninica sul versante padano), si evidenziano i periodi critici di riferimento per le principali specie target. In funzione della zona Alpina (A), Salmonicola (S), Mista (M) e Ciprinicola (C)) in cui ricade il manufatto all'interno della subarea di pertinenza ed all'ittiofauna che caratterizza il tratto in esame, andranno pertanto individuati i periodi durante i quali andrà condotto il monitoraggio.

L'avvio del Piano di monitoraggio è in ogni caso successivo alla verifica della reale e piena conformità dell'opera realizzata rispetto alle caratteristiche dimensionali e tipologiche definite nel progetto del passaggio per pesci. Tale verifica dovrà necessariamente costituire il primo passo per l'analisi del passaggio per pesci.

Relativamente al Piano di monitoraggio, la verifica dei parametri idraulici dovrà essere essenzialmente volta alla verifica di velocità della corrente, tiranti idrici e portata defluente in diverse condizioni idrologiche.

In particolare sarà opportuno effettuare tali verifiche per l'intero range di funzionamento del passaggio, con attenzione agli estremi, ossia nelle condizioni di massimo e minimo dislivello DH tra monte e valle dello sbarramento.

A tal fine sarà opportuno prevedere l'installazione, ove applicabile, di un asta idrometrica presso l'estremo di monte del passaggio che consenta a qualsiasi operatore di visualizzare gli estremi del range massimo di variazione dei livelli idrici di monte ($H_{monte\max}$, $H_{monte\min}$) per cui è stato progettato il corretto funzionamento dell'opera, nonché di identificare le condizioni idonee all'effettuazione del monitoraggio (in ogni caso andranno opportunamente registrati i livelli idrici rilevati in tale sezione durante l'effettuazione di ogni singola campagna di monitoraggio).

Di fondamentale importanza sarà inoltre la verifica dei valori massimi della corrente nei punti critici (passaggio tra bacini successivi, velocità presso l'imbocco di valle), che dovranno sempre essere < 2 m/s, agevolmente verificabili mediante correntometro.

Nei passaggi a bacini successivi e nelle fish ramp e canali by-pass con soglie in massi (boulder bars) dovrà inoltre essere verificato il dislivello tra bacini (Dh) ed i valori dei tiranti idrici al loro interno, mediante rilievo topografico speditivo.

Ispezioni visive dirette andranno inoltre condotte al fine di identificare eventuali zone critiche in cui elevata turbolenza potrebbe provocare problemi nella risalita, verificando al contempo l'assenza di deflusso al di sopra dei setti di separazione tra bacini.

Le risultanze delle verifiche condotte sui suddetti elementi andranno opportunamente registrate in occasione di ogni singola campagna di monitoraggio, avendo cura di esaminare condizioni idrologiche rappresentative del range di funzionamento definito in sede di progetto.

La verifica dell'effettivo passaggio dell'ittiofauna attraverso il dispositivo, e quindi della reale funzionalità per il ripristino della continuità del corso d'acqua, può essere condotta per via indiretta e/o per via diretta.

La via indiretta si basa sull'analisi degli effetti a medio e lungo termine dell'efficacia del passaggio e consiste nel campionare la popolazione ittica in più tratti a monte dello sbarramento in modo da poter valutare le modifiche alla composizione in specie ed alla struttura di popolazione (presenza di stadi giovanili a monte che testimoniano l'avvenuta migrazione riproduttiva) occorse a seguito della realizzazione del passaggio, focalizzando principalmente l'attenzione sulle specie con comportamento migratorio più spiccato. I campionamenti andranno comunque condotti anche a valle del passaggio per effettuare adeguati confronti con la situazione rilevabile a monte. I suddetti campionamenti potranno essere opportunamente integrati con l'osservazione e mappatura delle aree di frega durante il periodo riproduttivo atteso per le diverse specie in esame.

Tale verifica indiretta va usualmente accoppiata ad un monitoraggio diretto sul passaggio per esaminare l'effettivo transito da parte dell'ittiofauna.

A tal fine possono essere impiegate diverse tecniche: ispezioni visive, catture nel passaggio, marcatura e ricattura, telemetria, etc.

Le semplici ispezioni visive dirette andranno effettuate a cura di un ittiologo e saranno finalizzate a verificare la presenza di ittiofauna lungo il passaggio; un'elevata concentrazione di pesci a valle del passaggio può essere indice di problematiche nel corretto funzionamento del dispositivo.

Tali osservazioni possono essere eventualmente integrate con un campionamento con elettrostorditore all'interno del passaggio, eventualmente previo blocco di ingresso ed uscita con reti, anche se generalmente è preferibile evitare azioni che possano causare particolare stress

all'ittiofauna nel periodo delle migrazioni a fini riproduttivi. In ogni caso va tenuto conto del fatto che tale monitoraggio (ispezione visiva ed eventuale campionamento) forniscono una rappresentazione della situazione istantanea riscontrabile durante il momento del campionamento, che potrebbe non essere adeguatamente rappresentativa.

A tale proposito quindi è preferibile attuare dei campionamenti di una certa durata temporale, come nel caso delle metodologie seguenti, in modo che si possa verificare il corretto funzionamento del passaggio anche in diverse condizioni operative. Inoltre può essere opportuno prevedere un monitoraggio che si sviluppi su base almeno biennale, in modo da garantirne adeguata rappresentatività.

Un metodo classico di monitoraggio della funzionalità di un passaggio è la cattura dell'ittiofauna in risalita mediante una nassa ubicata presso l'uscita di monte. Nei passaggi a bacini successivi la nassa può essere direttamente posizionata all'interno del passaggio a monte del primo setto; nel caso di fish ramp o canali by-pass potrà rivelarsi necessario l'impiego di reti, con maglie di adeguata dimensione, indicativamente con diametro 10-12 mm, che indirizzino gli esemplari verso l'imbocco della nassa. Tramite questo sistema è possibile catturare e classificare tutti gli esemplari che effettivamente hanno risalito il passaggio durante il periodo di monitoraggio.



Figura 72. Esempio di cattura con nasse in passaggio a bacini successivi (da Larinier, 2002, modificato) e presso rampe (da DVWK, 2002)

L'applicazione di questa metodologia richiede una presenza pressoché costante presso il sito da parte di personale qualificato: gli esemplari catturati dovranno essere classificati per specie, dimensioni ed altre caratteristiche di interesse (maturità per riproduzione), per poi essere rilasciati a monte evitando che permangano a lungo nella nassa (questo al fine di evitare danni e mortalità per densità elevate); la nassa e le reti dovranno essere inoltre monitorate per prevenire fenomeni di occlusione a causa del materiale trasportato a valle dalla corrente, che potrebbe causare danni alle attrezzature e soprattutto alterare le condizioni idrodinamiche locali, inficiando la bontà dei risultati (il pesce potrebbe essere indotto a spostarsi a valle).

Nel caso di passaggi su sbarramenti senza regolazione dei livelli di monte va inoltre tenuto in debita considerazione il fatto che variazioni (incremento) dei livelli sono spesso concomitanti con l'avvio della migrazione ma di fatto possono impedire l'accesso in alveo per il posizionamento di nassa e reti, ovvero possono danneggiare seriamente e trascinare a valle le attrezzature già posizionate.

Un'ulteriore tecnica che può essere attuata nella verifica della funzionalità dei passaggi per pesci è la marcatura di esemplari catturati a valle e la verifica dell'avvenuto passaggio a monte o mediante la precedente modalità (cattura con nasse) o mediante ricattura con elettrostorditore a monte.

La marcatura può essere effettuata mediante elastomeri, sostanze a base di silicone che vengono iniettate superficialmente nell'esemplare come liquido che si solidifica rimanendo duttile e totalmente biocompatibile; essi sono impiantati al di sotto dei tessuti trasparenti o traslucidi e rimangono visibili esternamente nel tempo. Sono particolarmente adatti per studi su esemplari di ridotte dimensioni, per i quali costituiscono la migliore tipologia di marcatura disponibile (sono difficilmente utilizzabili tecniche più complesse ed invasive), e generalmente vengono impiegati per contrassegnare gruppi diversi di più esemplari, non fornendo però un'identificazione univoca del singolo individuo. L'impianto avviene previa anestesia ed il successivo rilascio viene effettuato dopo che si è verificata la totale ripresa dell'esemplare.



Figura 73. Esempio di marcatura con elastomeri su vairone, barbo e lasca (foto Spairani)

Può talora essere prevista la cattura di esemplari da marcare reperiti a monte dell'ostacolo anche per valutare l'efficacia del passaggio sfruttando eventuali tendenze di homing (ritorno degli esemplari marcati verso gli habitat di provenienza).

Una volta completata marcatura e rilascio, la verifica dell'avvenuto passaggio può quindi essere condotta esclusivamente mediante ricattura. Va però considerato che solo in ambienti di limitate

dimensioni l'effettuazione di catture con elettrostorditore nel tratto di monte può fornire indicazioni utili, in quanto l'efficacia delle ricatture in ambienti aperti e di difficile campionabilità (ad es. invaso) può anche essere pressoché nulla. E' pertanto preferibile effettuare ricatture con nassa direttamente presso l'estremo di monte del passaggio.

Per esemplari di taglie maggiori (indicativamente a partire dai 6-8 cm di lunghezza) o comunque per studi di maggiore dettaglio in cui sia di interesse analizzare separatamente il comportamento di singoli individui, sono invece utilizzabili marcature con pit-tags. Il tag è un componente elettronico composto da un chip ed un avvolgimento elicoidale, avente una memoria non volatile contenente un codice unico alfanumerico che permette di identificare in modo univoco e permanente l'esemplare marcato.



Figura 74. Esempio di pit-tag (foto OregonRFId)

La marcatura avviene previa anestesia ed è condotta tramite una minima incisione sulla cavità ventrale del pesce seguita dall'inserimento del pit-tag (che può essere di varie dimensioni commerciali, dagli 8 mm in su) ovvero tramite l'impiego di specifici iniettori.

Anche in questo caso il successivo rilascio viene effettuato dopo che si è verificata la totale ripresa dell'esemplare marcato.

Nel caso delle ricatture valgono le considerazioni precedenti sulla preferibilità dell'uso di nasse se ci si trova in ambienti ampi con tratti di difficile campionabilità.

Questa tecnica però, consentendo l'identificazione univoca dell'esemplare catturato, può inoltre essere accoppiata all'uso di antenne da posizionare lungo il passaggio, coprendo l'intera sezione di deflusso, che combinate a dei data loggers sono in grado di registrare data ed ora dell'eventuale passaggio degli esemplari marcati. Maggiore è la dimensione del pit-tag, maggiore è il range di detezione (massimo ≈ 1 m). Nel caso di posizionamento delle antenne all'ingresso ed all'uscita del passaggio sarà possibile registrare la direzione di passaggio ed il tempo impiegato per il transito. L'impiego ideale di questo metodo di monitoraggio è nei passaggi a bacini successivi, in cui la sezione di deflusso è limitata e geometricamente ben definita. Nel caso di impiego in fish ramp o canali by-pass sussistono maggiori difficoltà ed il rischio di danneggiamenti nel caso di variazioni sensibili dei livelli idrici.



Figura 75. Esempio di installazione di antenne per pit-tag (foto Larinier ed OregonRFId)

Il monitoraggio può quindi essere condotto anche per lunghe durate con limitato impiego di personale (per scarico dati, eventuale sostituzione batterie per alimentazione elettrica sistema antenna-data logger, verifica eventuale danneggiamento delle antenne o occlusioni delle sezioni monitorate).

Usualmente, nelle procedure di marcatura e ricattura può essere usata la seguente formulazione semplificata per valutare l'efficacia del passaggio E:

$$E = 100 \cdot (N_r / c \cdot N_m)$$

in cui N_r è il numero di esemplari marcati catturati a monte, N_m è il numero di esemplari marcati rilasciati a valle del passaggio e c la mortalità connessa alla marcatura ($0 < c \leq 1$, $c=1$ per mortalità nulla).

Inoltre può essere stimata la popolazione N presente immediatamente a valle del passaggio che intende effettuare la risalita mediante la formula:

$$N = c \cdot N_n \cdot N_m / N_r$$

in cui N_n è il numero di esemplari non marcati catturati a monte.

La modalità più dettagliata di monitoraggio dell'efficacia di un passaggio per pesci consiste però nell'impiego di tecniche telemetriche, ed in particolare del radio-tracking.

L'applicazione di questa tecnica consiste nel catturare gli esemplari da sottoporre a monitoraggio, anestetizzarli ed impiantare nella cavità ventrale una trasmittente radio (possono essere previste modalità alternative di impianto esterno). Ad ogni esemplare è assegnata una singola frequenza radio (ed è quindi univocamente identificabile) sulla quale la trasmittente impiantata trasmette un segnale con un numero predefinito di pulsazioni al minuto. Il peso della trasmittente può variare da una frazione di grammo sino ad alcune decine di grammi in funzione della durata della batteria (da pochi giorni ad oltre 2 anni).

Grazie al segnale trasmesso ogni esemplare può essere seguito nel suo percorso tramite ricevitori manuali o stazioni di monitoraggio fisse dotate di apposite antenne. Il range di detezione può variare da 100 m sino ad oltre 1 km in funzione della morfologia dei luoghi e della tipologia di trasmettente e ricevente. L'impiego di tale tecnica consente di monitorare in tempo reale e/o in continuo la localizzazione di ogni esemplare in modo da poter analizzare il comportamento nell'approccio al passaggio (identificazione dell'ingresso da valle, transito attraverso il passaggio, uscita a monte, etc.), nonché nelle successive fasi della migrazione, consentendo altresì l'analisi della downstream migration (ad es. dopo la migrazione riproduttiva).

Il monitoraggio manuale consente l'identificazione puntuale della posizione dell'esemplare ricercato, che può quindi essere riportata su mappa (punto gps), e può essere condotto in più campagne successive al fine di verificare il percorso effettuato nel tempo nel tratto a monte ed a valle del passaggio. L'installazione di stazioni automatiche di rilevamento lungo il passaggio consente invece di registrare in continuo l'ubicazione dei singoli esemplari (ovvero delle singole frequenze radio), tramite l'intensità del segnale emesso dalla trasmettente. L'installazione di due stazioni automatiche sul passaggio, di cui una con antenna puntata a monte ed una con antenna a valle permette di ricostruire adeguatamente le dinamiche del transito degli esemplari marcati.

Per la gestione delle stazioni automatiche l'impegno del personale è analogo a quello richiesto per le stazioni di monitoraggio dei transiti dei pesci marcati con pit-tag (particolare attenzione va volta al mantenimento dell'alimentazione elettrica in siti remoti ed allo scarico delle notevoli quantità di dati rilevati); il monitoraggio manuale richiede invece sforzi rilevanti in quanto la ricerca degli esemplari a monte ed a valle del passaggio può interessare tratti a libera circolazione di diversi km.



Figura 76. Stazione di rilevamento automatico su fish ramp, antenna a monte ed a valle in diverse condizioni idrologiche (foto Comoglio)



Figura 77. Stazioni di rilevamento automatico alimentate con pannelli fotovoltaici sui fiumi Po e Dora Baltea (foto Comoglio)

Nel seguente grafico si riporta un esempio di superamento di una fish ramp da parte di un barbo marcato con trasmettente radio: i punti in verde rappresentano l'intensità del segnale rilevato dall'antenna di valle, quelli blu dall'antenna di monte (ordinate: intensità segnale rilevato; ascisse: tempo). Il pesce si avvicina progressivamente al passaggio (aumento dell'intensità del segnale in verde), per poi stazionare al suo interno per qualche tempo nel tratto di valle della fish ramp; successivamente avviene il transito a monte lungo il passaggio (progressivo incremento dell'intensità del segnale rilevato dall'antenna di monte) e poi l'uscita in alveo a monte dello sbarramento (intensità del segnale di monte maggiore di quella di valle) ed un rapido allontanamento nel corso d'acqua al di fuori del campo di detezione delle stazioni automatiche.

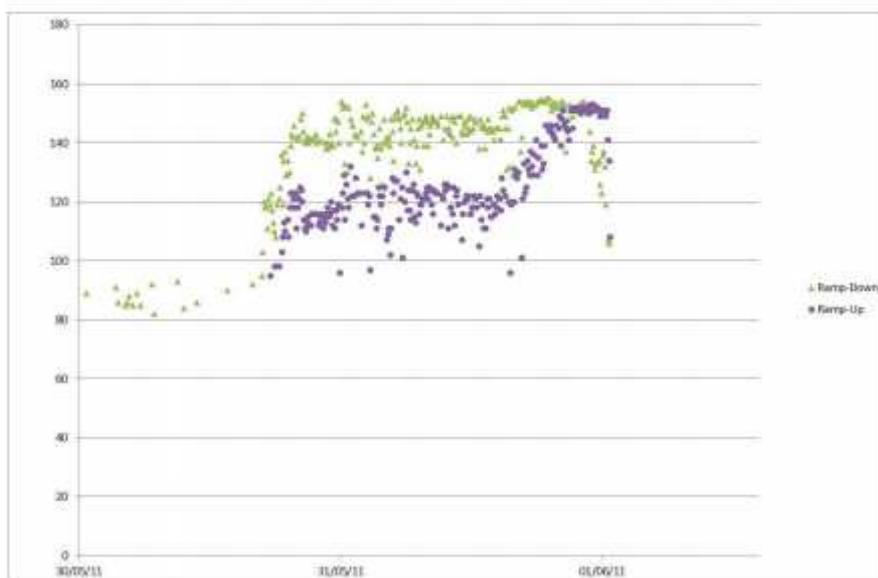


Figura 78. Rilevamento di transito a monte di un barbo attraverso una fish ramp

Le attrezzature per il radiotracking che consentono l'acquisizione di tali dettagliate informazioni sul comportamento degli esemplari marcati sono però sensibilmente più costose rispetto alle altre tecniche di monitoraggio e sono vincolate alla durata delle batterie delle trasmettenti (minori sono le dimensioni delle specie da monitorare, minore è la durata delle trasmettenti).

Il numero di esemplari usualmente marcabile si attesta su poche decine, rispetto alle diverse centinaia di pesci che possono essere marcati con i più economici pit-tags.

Oltre alle suddette tecniche di monitoraggio vanno ancora citati i fish counter ed i sistemi video-recording.

I "fish counter" sono attrezzature che registrano il passaggio dei pesci tramite elettrodi che individuano la minore resistenza del corpo del pesce rispetto a quella dell'acqua: gli esemplari sono forzati a passare attraverso sezioni ristrette lungo il passaggio in cui vengono ubicati tali dispositivi, che così rilevano passaggio, direzione e dimensione dell'esemplare, senza però identificare la specie.

Altre tecniche di monitoraggio utilizzano la registrazione video del passaggio dell'ittiofauna, prevedendo nel caso di installazioni più rilevanti la realizzazione di cabine di visualizzazione lungo il percorso del passaggio, come evidenziato nella figura seguente.



Figura 79. Schema tipo di cabina di visualizzazione attrezzata (da Larinier, 2002, modificato)

A tal fine va garantito il mantenimento nel tempo di adeguate condizioni ambientali (illuminazione, pulizia da alghe, velocità della corrente, etc.) nel punto in cui viene ubicata la videocamera (che può inoltre essere subacquea per installazioni dirette nel passaggio, senza cabina di visualizzazione) che garantiscano una buona qualità delle immagini registrate. Queste ultime vengono quindi trattate con specifici software di analisi delle immagini che registrano e classificano i fotogrammi in cui è stata catturata l'immagine degli esemplari in transito, consentendo anche la misura delle principali dimensioni e l'elaborazione di report giornalieri e per specie.



Figura 80. Schermata tipo di software commerciale per analisi delle immagini registrate nei passaggi (da Salmonsoft)

Di recente commercializzazione vi sono infine sistemi che accoppiano fish counter e video-recording, accessibili anche in remoto, cui possono essere associati sistemi di detezione pit-tags e sensori di parametri fisici (livelli, temperatura acqua, etc.).

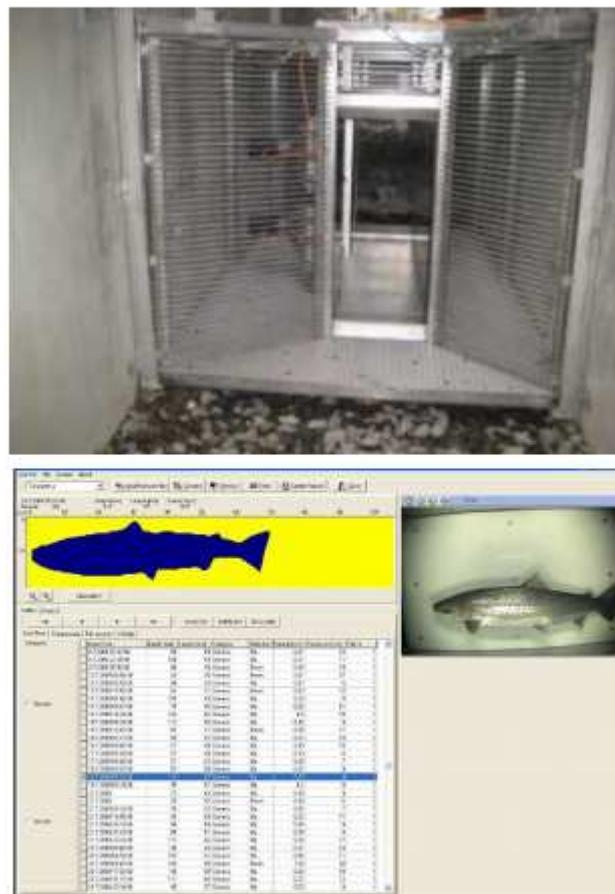


Figura 81. Esempio di installazione sistema fish-counter e video-recording in passaggio tecnico e schermata dati (Riverwatcher, Vaki)

10. Sintesi degli elementi base da sviluppare e verificare nei progetti di passaggi per la libera circolazione della fauna ittica

Come già precedentemente richiamato, la progettazione di passaggi per la libera circolazione della fauna ittica deve essere necessariamente sito-specifica e prevedere un approccio multidisciplinare con un gruppo di lavoro costituito almeno da un laureato in biologia o scienze naturali o affini con comprovate competenze specifiche in ittiologia ed ecologia fluviale e da un ingegnere civile-ambientale con competenze specifiche in idraulica fluviale e progettazione di infrastrutture idrauliche.

Di seguito si riporta una sintetica check-list di riferimento contenente gli elementi base che vanno sviluppati nella redazione di progetti di passaggi per la libera circolazione della fauna ittica e, quindi, nella relativa verifica da parte delle Autorità competenti.

Essa costituisce quindi un riferimento base per lo sviluppo di una corretta progettazione che comunque dovrà adeguatamente riferirsi a tutti gli elementi di dettaglio sviluppati nelle presenti linee guida.

1. Caratterizzazione ittiofaunistica:

- 1.a. Caratterizzazione quali-quantitativa dell'ittiofauna presente nel corso d'acqua (basata su campionamenti diretti dell'ittiofauna a monte ed a valle dello sbarramento) che potrà fruire del passaggio e identificazione delle esigenze di mobilità delle singole specie (lista specie, taglie di riferimento, velocità massime e di crociera, periodi migratori, caratteristiche dei mesohabitat e substrati necessari allo svolgimento delle fasi riproduttive; includere indicazioni, ove note, su downstream migration).
- 1.b. Mappa dei tratti d'alveo a monte che risulteranno nuovamente accessibili a seguito della realizzazione del passaggio (considerando sia il corso d'acqua principale che i principali affluenti, sino al primo ostacolo naturale o artificiale); individuazione delle principali aree nuovamente accessibili in cui sono presenti mesohabitat e substrati idonei allo svolgimento delle fasi riproduttive delle specie in esame.

2. Caratterizzazione idraulica:

- 2.a. Definizione dei valori di portata a valle della traversa e relativa distribuzione dei "rilasci" (modalità di rilascio, ubicazione punti di rilascio e valori di portata per ciascun punto) per i seguenti scenari di portata in arrivo da monte (Q_T):
 - Q_{medie} mensili (ove disponibili, anche i valori massimi e minimi delle medie mensili nei periodi migratori)
 - Q_{10}

- Q_{355} (o Q_{365})
 - nel caso di derivazione considerare anche i 3 seguenti scenari, specificandone le relative durate:
 - ✓ $Q_T \leq DMV$
 - ✓ $DMV + Q_{dermax} \geq Q_T > DMV$
 - ✓ $Q_T > Q_{dermax}$
- 2.b. Definizione dei valori di livello idrico a monte ed a valle della traversa per ciascuno degli scenari di cui al punto 2.a..
- 2.c. Definizione dei valori di $H_{montemax}$, $H_{montemin}$, $H_{vallemax}$, $H_{vallemin}$ (campo di operatività del passaggio).

3. Scelta tipologica, localizzazione e dimensionamento del passaggio:

- 3.a. Descrizione dei criteri adottati nella scelta della tipologia di passaggio (giustificare l'eventuale mancata applicazione delle tipologie ottimali: canali by-pass, vertical slot, etc.)
- 3.b. Descrizione dei criteri adottati nella scelta della localizzazione del passaggio.
- 3.c. Calcoli idraulici di dimensionamento del passaggio con riferimento all'intero campo di operatività del passaggio (punto 2.c.), specificando le modalità di eventuale rilascio della portata ausiliaria. Specificare portata minima, media e massima di funzionamento nei diversi scenari (punto 2.a.) e relativi valori di velocità massima e potenza volumetrica dissipata P_v .
- 3.d. Analisi dell'attrattività della portata del passaggio (ed eventuale portata ausiliaria) in relazione alla distribuzione degli ulteriori "rilasci" a valle della traversa per i diversi scenari di portata di cui al punto 2.a; analisi delle eventuali interazioni negative (mascheramento, turbolenza e velocità eccessive) tra ulteriori "rilasci" e portata di competenza del passaggio
- 3.e. Elaborati grafici (planimetria, sezioni quotate e prospetti, profilo complessivo) riportanti i livelli idrici di cui al punto 2.c..
- 3.f. Descrizione e dimensionamento di eventuali sistemi finalizzati a consentire la downstream migration (da approfondire in caso di nuove derivazioni e/o recupero energetico del DMV).

4. Piano di manutenzione

5. Piano di monitoraggio