

Settore politiche agricole, Parchi e Foreste

LA REALIZZAZIONE DI PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI: Suggerimenti per la progettazione



INDICE

Introduzione	1
I corsi d'acqua, caratteristiche generali.....	3
Definizione di torrente	11
Inquadramento e finalità dei passaggi per pesci.....	13
Indagine della comunità ittica	15
Passaggi ittici	21
Passaggi rustici	24
Tipologia a bacini successivi	44
Tipologia passaggio di tipo Denil	49
Miglioramenti dell'alveo	55
Inquadramento ecologico e faunistico	64
Aspetti biologici delle migrazioni dei pesci.....	66
Sintesi dei risultati dello studio sulle popolazioni ittiche del salmonidi autoctoni della provincia di Cuneo.	69
Velocità di nuoto e di resistenza.	72
Fase progettuale	75
Verifica e monitoraggio della funzionalità dei passaggi.....	79
Gli ostacoli invalicabili dell'ittiofauna in prossimità della traversa	89
Indici di priorità di intervento.....	90
Bibliografia consultata	98

LA REALIZZAZIONE DI PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI: SUGGERIMENTI PER LA PROGETTAZIONE

A livello regionale, si osserva che, nonostante una legislazione piuttosto importante in materia, mancano tuttavia gli strumenti tecnici d'indirizzo e supporto per la definizione delle specifiche tecnico-progettuali. Dal che consegue la mancanza, per gli enti preposti al controllo di tali manufatti, di adeguati parametri valutativi sia dei progetti sia delle opere una volta realizzate.

Il manuale si prefigge lo scopo di offrire ai progettisti gli elementi conoscitivi di base per una buona progettazione ed ai responsabili dell'istruttoria affinché, da un lato, il punto di vista della tutela dell'ittiofauna venga organicamente inserito nel progetto sin dall'elaborazione, dall'altro, sulla base di regole condivise, l'esame istruttorio, possa entrare pienamente nel merito delle scelte tecniche adottate e non si limiti ad una verifica formale della documentazione progettuale.

Introduzione.

Le normative comunitarie, nazionale e regionale, da alcuni anni, pongono l'accento sulla conservazione e protezione degli ecosistemi fluviali; il mantenimento della loro funzionalità è infatti la base per la tutela della biodiversità, con particolare riferimento alla componente rappresentata dalla fauna ittica. I corsi d'acqua costituiscono infatti una complessa rete ecologica, i corridoi migratori per l'ittiofauna sono delicati ambienti di stabulazione dove ogni singola specie percorre - per lunghezze variabili¹ - secondo le proprie esigenze, fiumi e torrenti.

L'approccio pluridimensionale ai sistemi fluviali, fa riferimento a quattro specifiche dimensioni tipiche dell'alveo: da sponda a sponda, da monte a valle, dalla superficie dell'acqua al fondo ed alla dimensione temporale:

- ⇒ la componente trasversale - da sponda a sponda - è legata alla dimensione laterale, costituita dalle interrelazioni con i territori e con le attività che si svolgono negli ambienti attigui;
- ⇒ la componente longitudinale da monte verso valle, è rappresentata dal susseguirsi di ecosistemi a partire dalla sorgente fino a giungere alla foce;
- ⇒ la componente verticale della superficie dell'acqua verso il fondo è connessa alle relazioni tra le acque superficiali e quelle profonde;
- ⇒ la componente temporale, fondamentale per evidenziare l'estrema variabilità nel tempo dell'ecosistema fiume, conseguente ad eventi climatici, a variazioni stagionali ed a manifestazioni improvvise come le piene, non ultimo, l'intervento dell'uomo.

I passati metodi di valutazione della qualità delle acque fluviali hanno subito una notevole evoluzione negli ultimi anni. Ai metodi di analisi della sola *componente*

¹ Per esempio il Barbo (*Barbus barbus*), percorre mediamente circa 300 Km e la Carpa (*Cyprinus carpio*) supera i 100 Km (indagine Steinmann 1937 Fiume Danubio).

ambientale acqua, si sono aggiunti metodi di valutazione dello *stato ambientale degli ecosistemi fluviali* con lo scopo di individuare strategie che integrassero azioni volte non solo al mantenimento della qualità dell'acqua, ma anche alla salvaguardia e alla valorizzazione del paesaggio fluviale e alla conservazione della flora e della fauna acquatica.

Negli ultimi anni, sono stati introdotti metodi d'indagine basati sulla rilevazione della presenza o assenza di determinati organismi viventi, vale a dire basati sulla definizione di *indicatori biologici*².

Questi metodi hanno il vantaggio di individuare e registrare turbative di varia natura in un corso d'acqua avvenute in tempi passati, l'utilizzo degli *indicatori biologici* presenta una vasta applicabilità di controllo sulla qualità dell'ambiente acquatico, un basso costo d'esercizio, d'essere ripetibile in tempi brevi e soprattutto facilmente comprensibile.

Tra i vari metodi sperimentati, si è affermato l'"Indice Biotico Esteso" o IBE³. Esso consente di esprimere un giudizio sulla qualità delle condizioni ambientali di un corso d'acqua attraverso il rilevamento della presenza di specifici organismi. Una nota particolare merita l'"Indice di Funzionalità Fluviale" o IFF⁴ che attraverso una metodologia di valutazione olistica⁵ è in grado di valutare la capacità funzionale del corso d'acqua, intesa come capacità di esprimere le funzioni ecologiche e le relazioni tra i diversi comparti biotici e abiotici sia del fiume o torrente sia delle zone riparie. Tale metodo, particolarmente utilizzato come strumento di valutazione, assume un importante rilievo come supporto alle decisioni inerenti alla riqualificazione dei corsi d'acqua, alla gestione degli ecosistemi fluviali e, non ultimo, alla pianificazione del territorio.

² Dall'anno 2006 risulta in vigore il nuovo testo unico in materia ambientale, il D. Lgs n°152/06, che modifica profondamente il contenuto del monitoraggio delle acque interne superficiali rispetto a quanto richiesto dal D. Lgs n° 152/99, in relazione al recepimento della direttiva europea 2000/60 sulle acque. Al monitoraggio basato principalmente sugli elementi fisico-chimici delle acque e sui macroinvertebrati (indici LIM e IBE), tutti gli elementi biologici assumono il ruolo principale nel determinare lo stato di qualità dell'ambiente idrico. L'analisi delle comunità biologiche assume quindi un ruolo predominante nel determinare il giudizio di qualità, mediante le indagini sul macrobenthos, ossia sugli invertebrati acquatici che vivono sul fondo dei corsi d'acqua, sulle diatomee, alghe unicellulari che rivestono i ciottoli dei fondali e le macrofite, alghe, muschi e piante superiori che si sviluppano sul fondo dei torrenti.

³ L'IBE verifica la qualità di ecosistemi in acque correnti sulla base di cambiamenti nelle comunità di macroinvertebrati. L'IBE rileva lo stato di qualità di un tratto di corso d'acqua integrando lo studio dei fattori di inquinamento o delle alterazioni fisiche dell'alveo, e può essere usato per individuare scarichi abusivi, per verificare le capacità auto-depurative dell'acqua e per valutare l'impatto di opere che modificano la morfologia dell'alveo.

⁴ L'IFF permette di studiare il grado di funzionalità di un fiume o parte di questo, attraverso la descrizione dei parametri morfometrici e biotici dell'ecosistema in studio. Diventa perciò uno strumento usato per la pianificazione nell'uso delle risorse idriche e nel riassetto idraulico del territorio. La considerazione preliminare e necessaria per questo strumento è la conoscenza del potere auto-depurante dei fiumi e il concetto di susseguibilità di ecosistemi nell'ecologia fluviale. Sebbene sia uno strumento piuttosto recente sta ottenendo una notevole considerazione per la sua capacità di fornire una conoscenza approfondita dell'ambiente fluviale.

⁵ Teoria biologica secondo la quale l'organismo deve essere studiato in quanto totalità organizzata e non in quanto semplice somma di parti.

I corsi d'acqua, caratteristiche generali

Il sistema dei corsi d'acqua, comprende tutte le acque superficiali presenti in un bacino idrografico⁶. Il bacino - che può presentare dimensioni dell'ordine di decine di chilometri - è limitato dallo spartiacque costituito dai rilievi più elevati e dai livelli a quota minore nel solco d'impiuvio dove scorre il corso d'acqua. Il segmento dello stesso, è caratterizzato da pendenze relativamente uniformi e da una struttura geologica omogenea; i confini di un segmento s'identificano in corrispondenza d'immissioni di tributari principali o di discontinuità litologiche o strutturali. Le caratteristiche che definiscono questo livello sono: ordine fluviale, litologia, pendenza dell'alveo, posizione nel reticolo idrografico, pendenza dei fianchi della valle, vegetazione, climax potenziale, tipologie di suoli.

Il tratto di corso d'acqua, definito anche come macrohabitat, ha dimensioni comprese fra poche centinaia di metri ed alcuni chilometri; i suoi limiti longitudinali s'identificano con variazioni di pendenza dell'alveo con capacità di resistere a piene con tempi di ritorno maggiori di 50 anni, mentre i limiti trasversali sono definiti da sponde in grado di sopportare piene con tempi di ritorno minori di 50 anni.

I corsi d'acqua naturali si distinguono nettamente dalle altre zone umide per le loro peculiari caratteristiche ecologiche. L'acqua corrente, con il suo perenne movimento e la sua portata sempre mutevole, conferisce ai biotopi⁷ legati ai corsi d'acqua un alto grado di instabilità.

Il corso d'acqua naturale ha un letto irregolare, con banchi di sabbia, ghiaia, fango e ciottoli: il torrente scava, deposita, sradica cespugli ed alberi, fa scomparire intere isole,

⁶ In idrografia il *bacino idrografico* o *imbrifero* è l'area topografica (solitamente identificabile in una valle o una pianura), delimitata dallo spartiacque di raccolta delle acque che scorrono sulla superficie del suolo e confluiscono verso un determinato corpo idrico recettore (fiume o lago) che dà il nome al bacino stesso. Lo spartiacque può essere schematizzato con una linea chiusa, nel caso di bacini idrografici montani o collinari. La linea di spartiacque interseca l'asta fluviale principale in un determinato punto verso valle, l'intersezione prende il nome di *sezione di chiusura* del bacino stesso. Detta sezione è di fondamentale importanza in idraulica in quanto, in corrispondenza di essa, si viene a raccogliere la portata complessiva del bacino e quindi quella del relativo corso d'acqua. La maggior parte dei bacini idrografici principali è formata dall'unione di più sottobacini rappresentati dai bacini idrografici dei singoli affluenti del corso d'acqua principale. Per i bacini chiusi, il bacino idrografico coincide con la sommatoria di tutti i bacini idrografici affluenti, direttamente o indirettamente, verso un fondovalle, lago o mare considerato.

⁷ In ecologia il *biotopo* è un'area di limitate dimensioni (ad esempio uno stagno, una torbiera, un altipiano) di un ambiente dove vivono organismi vegetali ed animali di una stessa specie o di specie diverse, che nel loro insieme formano una biocenosi. Biotopo e biocenosi formano una unità funzionale chiamata ecosistema. Il biotopo è dunque la componente dell'ecosistema caratterizzata da fattori abiotici (non viventi), come terreno o substrato, con le sue caratteristiche fisiche e chimiche, temperatura, umidità, luce e così via, ma non considerata disgiunta dalla componente biologica. In alcuni biotopi si ritrova un insieme di caratteristiche specifiche e particolari, non facilmente riproducibili altrove. In tali casi, il biotopo può rivestire particolare importanza in quanto può rappresentare l'unico luogo dove vivono particolari specie autoctone

abbandona vecchi alvei e ne crea di nuovi. Questa complessa dinamica fluviale crea un gran numero di biotopi in rapida trasformazione - perfino nella stessa acqua corrente, ove si formano zone con differente velocità e turbolenza.

Se i corsi d'acqua formano un'unità chiaramente distinta dalle campagne circostanti, al loro interno costituiscono un vero e proprio mosaico di biotopi, da quelli nel letto di magra, in perenne contatto con le acque fluenti, a quelli ai margini delle rive, solo per brevi periodi a contatto con le acque di piena.

Questa molteplicità ecologica consente l'insediamento di numerose specie vegetali e animali, con diverse esigenze; accanto a specie presenti anche in altri biotopi, ne troviamo altre specializzate per le particolari condizioni di instabilità dei corsi d'acqua.

Rilevante importanza per la strutturazione dei biotopi, ha la vegetazione, soprattutto le specie legnose (cespugli ed alberi). La vegetazione riparia lungo i corsi d'acqua naturali o prossimi alle condizioni naturali è costituita - a volte - da residuati di vecchi boschi, spesso rimaneggiati dall'uomo.

La vegetazione svolge un ruolo importante in distinte funzioni ecologiche dell'ambiente fluviale: l'apparato radicale delle piante, forma una zona di contatto tra l'acqua corrente superficiale e l'acqua sotterranea della falda circostante. La riva è permeabile, quindi consente scambi tra i due corpi d'acqua, attraverso le radici delle piante; in particolare le radici assorbendo sali dalle acque esercitano un effetto depurante.

Alberi e cespugli con radici fittonanti proteggono efficacemente le rive dall'erosione delle acque; in assenza di vegetazione, gli scoscendimenti di sponda ed il trasporto solido sono alquanto maggiori e le depressioni del fondo alveo, vengono riempite più rapidamente, livellandone il percorso. La vegetazione di sponda sommersa, offre ai pesci luoghi di rifugio e di frega.

La vegetazione riparia è parte integrante del fiume, costituisce corridoi ecologici di collegamento che consentono i movimenti e le migrazioni animali e il superamento delle frequenti barriere antropiche altrove presenti (infrastrutture viarie, aree urbanizzate).

Per quest'ultima funzione, i corridoi vegetati fluviali, assumono un'importanza decisiva per la funzionalità non solo degli ecosistemi fluviali, ma anche del mosaico ecologico territoriale ad essi interconnesso che compone l'intero bacino.

Le fasce di vegetazione riparia non vanno concepite come un ambiente a sè, semplicemente adiacente ad un corso d'acqua, ma come parte integrante dell'ecosistema fluviale, poiché forniscono un importante contributo diretto al suo funzionamento:

- ⇒ con la caduta delle foglie, queste apportano agli organismi acquatici la principale risorsa alimentare;
- ⇒ con l'ombreggiamento, la vegetazione, protegge le acque dal riscaldamento, consentendo un maggior tenore d'ossigeno disciolto;
- ⇒ le fasce di vegetazione riparia, intercettando e rallentando le acque di dilavamento dei versanti, favoriscono la sedimentazione dei solidi sospesi, contribuendo alla limpidezza delle acque fluviali, alla protezione dal seppellimento delle uova di pesci e dei macroinvertebrati. La presenza della vegetazione riparia, consente la denitrificazione e la rimozione dei fosfati, proteggendo le acque fluviali dall'eutrofizzazione.

UN DELICATO COMPLESSO SISTEMA BIOLOGICO.

Il corso d'acqua naturale costituisce un insieme di habitat unici per una fauna molto ricca e varia, sia acquatica sia terrestre. Le forme viventi occupano le diverse nicchie ecologiche ed interagiscono tra loro secondo complessi rapporti trofici.

Gli invertebrati (protozoi, insetti, crostacei, aracni, molluschi, ecc.) che annoverano il maggior numero di specie, occupano importanti anelli nella catena alimentare.

I pesci, come gli altri organismi acquatici, richiedono condizioni di vita ben precise, a tal proposito - alle variare della morfologia del corso d'acqua - l'ecologia fluviale, individua alcune rilevanti associazioni idrobiologiche riferite:

Al tratto sorgenzio *crenon*, costituito da porzioni fluviali di piccole dimensioni, con substrato roccioso e ricco di massi e flusso turbolento dovuto alla elevata pendenza. La temperatura dell'acqua è relativamente bassa. La fauna ittica è povera e costituita essenzialmente da trota fario e scazzone.

Al tratto torrentizio *rhithron*, caratterizzato da un aumento delle dimensioni del corso d'acqua, da una leggera riduzione della pendenza e dalla comparsa - unitamente ai massi e alla roccia (che rimangono dominanti) - dei ciottoli. La temperatura dell'acqua è ancora relativamente bassa; il percorso fluviale, pur diversificato al suo interno, è complessivamente rettilineo. La comunità ittica è più ricca, comprendendo anche la trota marmorata, il temolo e taluni ciprinidi (vairone, barbo comune, barbo canino, cavedano).

Nel tratto di transizione, *hyporhithron* tra la zona montuosa e quella a tratti pianeggianti, la pendenza si riduce, il substrato risulta costituito in prevalenza da ciottoli e l'acqua, pur rimanendo fresca, tende leggermente a scaldarsi. In tale zona, il corso d'acqua perde il carattere rettilineo e forma talvolta più rami; la comunità ittica è molto ricca sia di specie salmonicole sia ciprinicole reofile, ossia amanti di acque correnti.

Al tratto pianeggiante *potamon*, è inizialmente simile all'ultima porzione del rhithron, poi la pendenza si riduce ulteriormente, i substrati diventano gradualmente più fini e i valori termici subiscono un incremento anche considerevole. L'aspetto complessivo del corso risulta meandriforme. Tendono a scomparire i salmonidi, mentre aumentano le specie ciprinicole di acque lente.

Un ruolo ecologico non trascurabile viene svolto dai mammiferi, tra i quali si possono elencare: il toporagno d'acqua (*Neomysfodiens*), l'arvicola terrestre (*Arvico la terrestris*), il tasso (*Meles meles*) ed alcune specie di pipistrelli che vivono negli ormai rari relitti boscati; quanto alla lontra (*Lutra lutra*), superbo animale, nei paesi anglosassoni simbolo della ricchezza dei corsi d'acqua, è purtroppo in forte diminuzione ovunque ed è scomparsa da moltissimi fiumi e torrenti italiani.

Gli animali più appariscenti e più studiati sono senz'altro gli uccelli che contribuiscono ad abbellire il corso d'acqua svolgendo un ruolo ecologico fondamentale, utilizzando il fiume come terreno di caccia o di pesca, come corridoio di spostamento tra i diversi luoghi naturali o, ancora, come rifugio nelle cavità degli ormai rari vecchi alberi.

Gli aironi cenerini (*Ardea cinerea*) e i martin pescatori (*Alcedo atthis*) sono specializzati nella cattura dei pesci, il merlo acquaiolo (*Cinclus cinclus*) insegue sott'acqua gli invertebrati, le ballerine gialle (*Motacilla cinerea*) si trovano sulle rive dove si nutrono e nidificano, la gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*), il tuffetto (*Podiceps ruficollis*) ed il germano reale (*Anas platyrhynchos*) sono tipici rappresentanti delle acque caratterizzate da una corrente lenta.

Anche i rettili come il biacco (*Coluber viridiflavus*) e la biscia dal collare (*Natrix natrix*), nonché gli anfibi come, ad esempio, il rospo comune (*Bufo bufo*), la rana verde (*Rana esculenta*) ed il tritone (*Triturus vulgaris*) sono legati agli habitat di torrenti, fiumi e zone umide.

Morfologia fluviale

ARTICOLAZIONE LUNGO IL PROFILO LONGITUDINALE.

Seguendo un corso d'acqua dalla sorgente alla foce, si riscontrano condizioni molto diverse sia nelle acque (velocità, torbidità, contenuto di sostanze nutritive, temperatura), sia nel substrato geopedologico e nel clima. Di regola, procedendo da monte verso valle, diminuiscono pendenza, velocità e trasporto solido, mentre aumentano torbidità, sostanze nutritive e temperatura. Particolarmente appariscenti sono le trasformazioni subite dalla vegetazione, in relazione alle continue modifiche del corso d'acqua e dell'ambiente circostante.

Secondo una recente impostazione naturalistica (Heinz Ellenberg, 1974), i corsi d'acqua naturali sono considerati macroecosistemi, che si possono distinguere, in base alla struttura del substrato⁸, all'escursione annua della temperatura ed alle specie di pesci caratteristiche in diverse zone o mesoecosistemi (per esempio boschi, macchie, stagni, ecc.).

CORSO SUPERIORE.

Il corso superiore è caratterizzato da una netta prevalenza dell'erosione sulla sedimentazione. A prescindere dai fiumi carsici, i corsi d'acqua nascono come piccoli ruscelli nei bacini d'impluvio delle montagne, dove vengono alimentati dalle precipitazioni e dalle sorgenti.

Se i bacini d'impluvio si trovano sopra il limite dei boschi, i pendii hanno una copertura di suolo vegetale sottile e discontinua ed una vegetazione piuttosto magra, che non consentono di accumulare in misura considerevole le precipitazioni.

Le precipitazioni invernali, sono immagazzinate come neve che si scioglie incrementando i deflussi primaverili; le piogge estive scorrono immediatamente, più o meno velocemente verso gli impluvi.

Fino al limite dei boschi, le piante pioniere, quali il Pino montano, il Ginepro, l'Ontano verde, la Betulla pendula, rivestono particolare importanza per contrastare l'erosione e smottamenti superficiali.

In alta montagna, alla base dei bacini di raccolta delle acque, si trovano spesso suoli o torbiere più o meno potenti che ospitano una ricca vegetazione; la stessa accompagna il corso d'acqua (nel frattempo cresciuto) mediante l'unione di parecchi ruscelli, fino al punto più basso del bacino. Da tale punto, il torrente si scava di solito una valle stretta e profonda, caratterizzata da forte pendenza.

In relazione alla violenta forza di trascinamento dei torrenti, la portata solida trasportata è elevata; in questo tratto le piante più interessanti - per l'equilibrio paesistico - sono varie: specie di Salici e di Ontano verde e, verso il limite dei boschi anche il Sorbo montano e il Sorbo degli uccellatori.

Se il bacino d'impluvio si trova sotto il limite dei boschi, i ruscelli vengono di regola alimentati da sorgenti perenni e il deflusso risulta più equilibrato. Si forma in ogni caso, anche se in un breve tratto, un torrente con una notevole forza erosiva che si apre in

⁸ Porosità, capacità di ritenzione, permeabilità/impermeabilità, PH, salinità, densità, granulometria, sono caratteristiche riferite alla superficie dell'alveo.

una valle incassata a "V". Nella zona superiore, la conservazione ed il corretto sfruttamento dei boschi, acquistano fondamentale importanza per il buon regime delle acque. Nelle sottostanti gole montane si formano associazioni forestali tipiche, nel letto del torrente possono insediarsi solo poche piante basse, in particolare varie specie di Salici.

Nel tratto successivo, il torrente abbandona la gola montana e scende in una valle più aperta, ove si trasforma in fiume e, unendosi ad altri torrenti, sfocia in un altro corso d'acqua. La minor forza di trascinamento delle acque conduce ad ampi depositi del materiale solido trasportato, detti coni di deiezione, classificati dall'alto in basso granulometricamente, ossia caratterizzati da materiali più grossolani nella parte superiore e più fini in quella inferiore.

Sui terreni più grossolani, ai Salici, si possono insediare l'Ontano verde e l'Ontano bianco; sui terreni più fini, si insediano l'Ontano nero, il Pioppo nero e il Salice bianco.

CORSO MEDIO.

Il corso medio dei fiumi è caratterizzato da un sostanziale equilibrio tra erosione e sedimentazione. Il fiume tende ad assumere un andamento serpeggiante, con curve e controcurve; lungo i tratti concavi delle rive si verificano fenomeni di erosione con scoscendimenti e formazione di buche, mentre lungo i tratti convessi la minor velocità delle acque produce depositi di materiale lapideo. La pendenza è decisamente inferiore, la sezione d'alveo diventa più larga con sponde meno ripide.

Lungo i greti più estesi dei fondovalle alpini, le associazioni arbustive naturali più frequenti sono i Tamericeti e i Saliceti (Salice bianco, Salice nero, Salice rosso, Salice delle ceste, Salice barbuto).

CORSO INFERIORE.

Nel corso inferiore dei fiumi prevale la sedimentazione del materiale fine. Lo specchio d'acqua si allarga alquanto, diventando nettamente prevalente rispetto alla profondità, e in prossimità della foce, può dividersi in più rami. In seguito alla formazione di meandri ed al taglio naturale delle anse, si formano rami di acque stagnanti, conosciute come *lanche* o *mortizze*.

Le rive diventano sempre più piatte e, in prossimità delle stesse, la velocità dell'acqua quasi si annulla; lungo questi tratti predominano specie di salici ed il canneto. Immediatamente sopra la falda freatica, dove possono mettere radici specie legnose di medio fusto, si trovano Salice bianco e Salice nero, Pioppo bianco e Pioppo nero, Ontano nero, Frassino, Olmo, ecc.

Purtroppo, la vegetazione lungo i corsi d'acqua di pianura, è stata ampiamente distrutta o rimaneggiata irreparabilmente dall'uomo. Nella pianura padana, si trovano oggi residui di Aineti, dominati dall'Ontano nero accompagnato da Salici e di Pioppeti-Saliceti composti da Pioppo bianco, Pioppo nero e Salice bianco; tali associazioni boschive, un tempo dovevano essere molto più estese e sono state oggi largamente soppiantate da colture artificiali di pioppi euroamericani con relativo sottobosco.

Dalla vegetazione ripariale, sono spesso derivati gli arbusti utilizzati come siepi di confine e che costituiscono un elemento paesaggistico particolare: Ligustri, Cornioli, Spinocervini, Bianco- spini...

ARTICOLAZIONE LUNGO LA SEZIONE TRASVERSALE.

A parità di posizione lungo il profilo longitudinale, le concordanze vegetazionali tra le sezioni trasversali dei vari corsi d'acqua sono ancor più pronunciate. L'estensione delle zone di vegetazione riparia, dipende dalla sezione dell'alveo, dalle acclività dei pendii e dalle oscillazioni temporali dello specchio d'acqua.

Nel corso inferiore, i corsi d'acqua che presentano una larghezza del letto superiore a circa otto metri, la vegetazione è caratterizzata da piante erbacee acquatiche, canneti, piante di legno dolce e piante di legno duro che contribuiscono ad arricchire il mosaico dei biotopi fluviali.

La zona delle piante acquatiche - sempre sommerse - ha in prevalenza funzioni sia idrobiologiche (per es. legate alla frega dei pesci) sia autodepurative⁹.

La zona vegetata da piante di legno dolce (Salici, Ontani, Pioppi) si estende lungo le fasce golenali interessate dalle piene normali; la zona delle piante di legno duro (Frassini, Olmi, Querce, Carpini) si estende lungo le fasce golenali interessate dalle piene eccezionali.

LO STUDIO DELL'HABITAT FLUVIALE.

Le caratteristiche e le qualità dell'habitat fluviale e ripario, sono valutate applicando l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) che esprime la qualità dell'ecosistema fluviale soprattutto in termini di livello di *funzionalità idrobiologica* del corso d'acqua. Lo studio dell'habitat fluviale comporta lo studio della morfologia del corso d'acqua a livello di mesohabitat (su di una lunghezza del corso d'acqua nell'ordine della decina di metri e con una durata temporale dell'ordine della decina di anni).

Gli elementi che caratterizzano il mesohabitat - conosciuti come *unità morfologiche* - sono riconducibili a tre tipologie fondamentali¹⁰:

- ⇒ *pool*: caratterizzato da velocità di corrente moderata, acque relativamente profonde, fondo costituito da sedimento generalmente a granulometria fine;
- ⇒ *riffle*: indica tratti con corrente veloce, turbolenza superficiale, acqua poco profonda e substrati grossolani e duri;

⁹ Insieme di processi fisici, chimici e biologici che in un corso d'acqua portano alla degradazione e alla mineralizzazione, principalmente ad opera di batteri eterotrofi, della sostanza organica. Se questa è principalmente presente con alte concentrazioni, la sua mineralizzazione avverrà con il consumo di un'elevata quantità di ossigeno disciolto. Il consumo biochimico di ossigeno (BOD) può essere assunto come misura indiretta della sostanza organica. Si ricorda che la concentrazione di ossigeno disciolto in un corpo d'acqua è regolata dal bilancio tra diffusione, produzione e consumo respiratorio, compreso quello per la decomposizione operata dai batteri.

Il processo di autodepurazione di un corso d'acqua può essere visualizzato e quantificato dalla curva delle concentrazioni di ossigeno a valle di uno scarico di materiali organici: nel primo tratto l'intensa deossigenazione porterà ad una netta diminuzione del contenuto di ossigeno, che successivamente tenderà a riportarsi su valori più elevati per effetto della riareazione atmosferica. In sostanza, l'autodepurazione si configura come processo "naturale" di recupero della qualità delle acque fluviali che subiscono l'impatto di uno scarico di materiali organici di origine prevalentemente antropica. È da dire che in molti piccoli corsi d'acqua, ma anche in fiumi importanti (è il caso di diversi affluenti del Po), per l'eccessivo carico di nutrienti che vi sono sversati e per l'eccesso di prelievi idrici soprattutto nei mesi estivi, il processo autodepurativo non porta ad alcun miglioramento significativo della qualità delle acque e della funzionalità dell'ecosistema. In situazioni estreme, quando quantità rilevanti di sostanza organica sono immesse in corsi d'acqua di debole portata, il progressivo impoverimento dell'ossigeno può portare anche alla completa anossia delle acque. (v. Anossia, v. Decomposizione, v. Nutrienti)

¹⁰ White, 1973; Bisson et al., 1982; Marcus et al., 1990; McCain et al., 1990.

⇒ *run*: indica tratti con corrente veloce, flusso laminare, acqua poco o mediamente profonda e substrati grossolani e duri.

I *riffle* e i *run* hanno caratteristiche idraulico-morfologiche particolarmente idonee alla colonizzazione da parte dei macroinvertebrati bentonici (acque veloci e ossigenate, substrato grossolano ricco d'interstizi in grado di offrire un'ampia superficie per la crescita del periphyton), sono pertanto aree preferenziali per l'attività alimentare dei pesci, della cui dieta i macroinvertebrati sono componente fondamentale.

I *riffle* e i *run* rivestono inoltre una notevole importanza per l'attività riproduttiva di numerose specie ittiche (per esempio trote e temoli) le cui uova, deposte in substrati ghiaiosi, necessitano di un buon ricambio d'acqua ben ossigenata; in tali aree si possono verificare temporanei addensamenti di individui adulti maturi nel periodo riproduttivo. Il valore biologico assoluto di un *riffle* o di un *run* dipenderà dalle sue caratteristiche specifiche: un tratto di *riffle* con substrato ciottoloso sarà meno favorevole alla riproduzione, ma potrà offrire più rifugi e maggiore disponibilità di macroinvertebrati rispetto ad un *run* con substrato ghiaioso, più adatto invece alla frega. Un "*high gradient riffle*" caratterizzato dalla presenza di grossi massi ed elevata turbolenza, sarà più adatto ad ospitare pesci adulti di un "*low gradient riffle*" caratterizzato dalla presenza di massi di minori dimensioni e turbolenza più ridotta, nel quale invece saranno più numerosi i giovani.

Le *pool* forniscono rifugio dai predatori aerei e terrestri ai pesci di taglia maggiore, in particolare a quelli che fanno uso di tane come gli individui adulti di trota, che non trovano ripari idonei nelle acque basse dei *run*.

In corsi d'acqua soggetti a notevoli riduzioni di portata, la presenza di *pool* con un sufficiente volume d'acqua di riserva, è fondamentale per garantire la sopravvivenza della fauna ittica nei periodi di magra, durante i quali le tipologie come *riffle* e *run* possono essere soggette ad asciutte. Anche per le *pool*, le diverse caratteristiche, quali la profondità massima e la presenza di rifugi, saranno determinanti nel definirne il valore biologico; è ovvio ad esempio che una *pool* molto profonda sarà più importante per la sopravvivenza dei pesci rispetto ad una *pool* più bassa. Alcune *pool*, presentano una conformazione tale da consentire la riproduzione delle trote, in quanto terminano con una zona di acque veloci e poco profonde. Questa tipologia di *pool* è particolarmente importante in quanto è idonea sia ad ospitare i riproduttori sia come zona di frega.

Definizione di torrente

I corsi d'acqua naturali sono normalmente divisi in due grandi categorie: torrenti e fiumi. Pur non essendoci una netta distinzione (non per nulla sono stati introdotti come categoria intermedia i fiumi torrentizi) è opportuno indicarne le caratteristiche salienti.

Si definisce *torrente*, un corso d'acqua caratterizzato da:

- ⇒ bacino imbrifero di estensione relativamente piccola;
- ⇒ pendenza notevole (l'acqua di solito scorre in regime rapido);
- ⇒ portate modeste, ma rapidamente variabili, con piene relativamente elevate, violente ma di breve durata;
- ⇒ materiale lapideo trasportato dalla corrente a pezzatura relativamente grossa.

I fiumi presentano caratteri opposti ai precedenti: bacino di alimentazione assai esteso, portate perenni e non molto variabili, piccole pendenze (la corrente è di solito lenta), materiale di trasporto sottile.

CLASSIFICAZIONE DEI TORRENTI.

L'uomo ha sempre cercato di inquadrare i fenomeni naturali in schemi più o meno semplici e più o meno aderenti alla loro complessa realtà; i criteri più interessanti per classificare i torrenti, assumono come elemento caratterizzante le modalità del movimento e del trasporto dei materiali solidi.

I torrenti si dividono in due classi fondamentali: *torrenti di trasporto* e *torrenti di scavo*.

TORRENTI DI TRASPORTO.

Sono quei torrenti nei quali l'apporto di materiale solido proveniente dall'erosione delle rive, è tale che l'energia della corrente del torrente è impiegata a trasportare il materiale a valle (e non a scavare il letto del torrente). Il corso d'acqua ha la tendenza ad alzarsi aumentando la quota della superficie dell'alveo.

In genere in montagna, (dove il torrente scorre in alvei più o meno incassati, l'alzamento del letto dell'alveo non è dannoso, salvo casi particolari quali attraversamento di abitati, ponti, ecc.) è quasi sempre indice di un accentuato degrado superficiale del bacino di alimentazione. La presenza nell'alveo di notevoli quantità di materiale solido non ancora consolidato, contenente anche elementi a grana sottile (limi ed argille), in torrenti a forte pendenza, può dar luogo, in determinate circostanze, alla formazione di pericolose *lave torrentizie* (debris flow), le cui conseguenze possono essere catastrofiche.

In attesa di un'eventuale sistemazione del bacino di alimentazione, occorre fermare il materiale lapideo sciolto: si costruiranno le *briglie di trattenuta* (sbarramenti tracimabili), per formare delle zone di deposito nelle quali il materiale possa depositarsi. Le briglie sono opere idrauliche isolate piuttosto alte, generalmente sono localizzate a valle di allargamenti naturali dell'alveo.

Una sistemazione di questo tipo, svolge il suo effetto per un limitato numero di anni; quando le capacità di invaso sono state esaurite, la loro funzione protettiva contro i

danni provocati dall'eccessivo trasporto solido viene a cessare, o ad essere molto limitata.

TORRENTI DI SCAVO.

Sono quei corsi d'acqua nei quali l'energia della corrente - oltre a trasportare a valle i materiali che scendono dalle pendici dei versanti - tende anche a scavarne il letto; l'eccessivo approfondimento ha come conseguenza il dissesto delle sponde indebolite dall'erosione al loro piede. Per evitare questo fenomeno (concentrato nel letto del torrente) esistono due vie: o diminuire la velocità dell'acqua e - il sistema più semplice ed immediato - è quello di diminuire la pendenza del torrente, o rendere inerodibile il fondo mediante selciatura, realizzando dei *cunettoni*.

La diminuzione della velocità dell'acqua attraverso la riduzione della pendenza si effettua realizzando una serie di salti di fondo mediante briglie o soglie (briglie di consolidamento). Seguendo la trattazione classica, bisogna fornire all'alveo del torrente, una pendenza tale che in ogni suo tratto, la quantità di materiale asportato sia uguale a quella che arriva da monte e si deposita.

Questa pendenza è definita come *pendenza di compensazione* ed indica uno stato di equilibrio dinamico in cui ci sia compenso tra erosioni e depositi. La riduzione della pendenza si realizza sostituendo al profilo dell'alveo una serie di livellette a pendenza minore (*pendenza di correzione*) attraverso salti di fondo costituiti da briglie o soglie. In questo caso le briglie non hanno lo scopo di ritenere il materiale, ma solo quello di diminuire la pendenza dell'alveo e la velocità dell'acqua a valori tali da impedire l'erosione.

Le briglie, le soglie, le traverse, i pennelli, sono opere idrauliche ed appartengono alla categoria delle opere trasversali di un corso d'acqua. Le opere longitudinali, disposte parallelamente alla direzione di scorrimento delle acque, sono gli argini e in generale tutte le opere di difesa spondale (scogliere, gabbionate, muri in c.l.s. o in pietrame con paramento verticale, ecc.).

Inquadramento e finalità dei passaggi per pesci

Si definiscono passaggi per pesci quelle opere di ingegneria idraulica finalizzate a consentire la naturale risalita della fauna ittica oltre gli insuperabili ostacoli artificiali (briglie, soglie, traverse) presenti trasversalmente lungo un corso d'acqua. Talvolta le scale di risalita sono state applicate anche ad ostacoli naturali (cascate, salti di ridotte dimensioni) per incrementare gli areali riproduttivi di specie ittiche di pregio.

La progettazione, prevede un approccio multidisciplinare, poiché - un passaggio per pesci - è la risposta tecnica a tutti quei fattori che caratterizzano uno specifico contesto ecologico e sociale, del quale si vogliono riqualificare le peculiarità ambientali.

Secondo il Regolamento regionale 8/R, art.1, comma 2, che fa salve le disposizioni della L.r. 37/2006 - all'allegato D della citata legge regionale - i progetti di rampe per la risalita ittica devono essere redatti e firmati anche da professionisti abilitati nella specifica disciplina.

La progettazione di passaggi artificiali per pesci, materia complessa ed articolata, deve essere attribuita a più figure professionali: un ingegnere idraulico e/o ambientale, un biologo esperto sia di corpi idrici sia di ittiologia. A queste figure professionisti, potranno affiancarsi, a seconda delle necessità (in funzione del tipo di opera e della sua collocazione ed inserimento ambientale) un geologo, un agronomo forestale o un architetto ambientale.

Al di là della tipologia delle opere ed alla molteplicità delle soluzioni che possono essere adottate per costruire passaggi efficaci e ben inseriti nell'ambiente, tuttavia sono numerosi gli aspetti ambientali di particolare interesse riguardanti non solo i pesci e la loro ecologia, biologia e fisiologia, ma anche l'habitat fisico circostante l'opera: dovranno essere approfonditi sia gli aspetti idrogeologici ed idraulici sia l'ecosistema nel suo complesso.

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

Le fasi per un corretto approccio progettuale sono sostanzialmente le seguenti:

- ⇒ Corretta ed esaustiva indagine sulla fauna ittica, scelta della/e specie definite *specie target* per definire i dimensionamenti della scala di risalita;
- ⇒ conoscenza del calendario migratorio e riproduttivo per la/e specie target: studio di indirizzo per definire il periodo dell'anno in cui ottimizzare il funzionamento dell'opera;
- ⇒ analisi del regime fluviale durante l'arco dell'anno ed in particolare nel periodo migratorio per le specie target;

- ⇒ scelta della portata di utilizzo da destinare al passaggio artificiale in relazione ai deflussi del corso d'acqua nel periodo migratorio individuato: processo volto ad ottimizzare il dimensionamento complessivo del passaggio per pesci;
- ⇒ contesto ambientale in cui si colloca l'intervento: analisi dei criteri per definire eventuali usi plurimi dell'opera (usi potabili, irrigui, idroelettrici, passaggio per canoe, ecc.);
- ⇒ scelta della tipologia progettuale più idonea: indirizzo tecnico sul quale si svilupperà il disegno dell'opera;
- ⇒ progettazione dell'intervento: produzione di elaborati tecnici (relazioni, calcoli, tavole, simulazioni fotografiche, rendering) per la realizzazione delle opere.

Indagine della comunità ittica

La conoscenza approfondita della comunità ittica presente nel tratto del corso d'acqua di cui si vuole ricostituire la continuità fluviale, è di estrema importanza per conoscere quali sono le specie di pesci che risentono negativamente della presenza dell'ostacolo in alveo ed in base a questo si potrà scegliere la tipologia di passaggio artificiale adatta a soddisfare il maggior numero di specie presenti.

E' opportuno compiere sia un'analisi bibliografica e storica del bacino idrografico sia un monitoraggio tramite campionamenti delle specie presenti: la non-integrazione delle due ricerche potrebbe condurre a risultati non esaustivi se condotte localmente ed in modo episodico. Infatti, tra i pesci vi sono specie migratrici che utilizzano solo temporaneamente i tratti superiori dei fiumi per motivi trofici o riproduttivi e, un controllo pur localizzato potrebbe non riscontrarne la presenza.

In alcuni casi, la locale assenza di talune specie a valle di uno sbarramento può essere dovuta ad altre cause, in questi casi è più che mai opportuno affrontare il problema della ricostituzione della continuità del corso d'acqua a scala di bacino. L'analisi estesa in questi termini, può consentire di progettare passaggi per pesci che possono essere superati dalle specie presenti, tenendo conto delle esigenze anche delle specie al momento assenti ma che potrebbero nel tempo raggiungere lo sbarramento. E' opportuna, una campagna di monitoraggi, raccolta di informazioni, ricerche e studi specifici sullo stato dei popolamenti ittici nei tratti a monte e a valle dello sbarramento esistente; in questo modo è possibile verificare quanto la realizzazione della scala di risalita ha portato benefici ad alcune specie o all'intera comunità ittica.

INDAGINE STORICA.

Le condizioni ittiologiche degli ambienti d'acqua dolce sono, nel tempo, oggetto di cambiamenti: questi sono in gran parte dovuti all'alterazione dei mesohabitat fluviali¹¹ ed all'introduzione di specie alloctone che, entrando in competizione con quelle originarie, ne hanno modificato anche drasticamente la popolazione. In Italia, le ricerche relative ai pesci hanno avuto degli andamenti alterni nel corso degli ultimi due secoli e solo recentemente - in risposta ad esigenze di tipo gestionale e conservazionistico - si sono effettuate estese ed approfondite indagini che hanno permesso di ricostruire con sufficiente dettaglio lo stato delle comunità ittiche di una sufficiente parte del reticolo idrografico nazionale.

E' possibile raccogliere informazioni storiche tramite osservazioni effettuate sia dall'Assessorato all'Agricoltura e Foreste, Caccia e Pesca della Regione Piemonte sia dalle Provincie che si occupano degli aspetti legati alla pesca o all'ambiente. In questo caso sono disponibili dati molto recenti e, spesso, come nel caso dell'amministrazione di questa Provincia (Settore politiche agricole, Parchi e Foreste. Ufficio Caccia e Pesca) sono disponibili aggiornate carte ittiche (Carta delle acque pescabili della provincia di Cuneo) che classificano le acque pubbliche in base alla definizione stabilita dalla L.r. 37/06 (Acque principali e secondarie).

¹¹ Alternanze di riffle e pool, diversità strutturale del corso d'acqua, fasce riparie, ecc.

La Carta Ittica introduce il criterio di classificazione dei corsi d'acqua per tipologia d'usi:

Acque libere, acque soggette a diritti esclusivi di pesca, acque soggette ad usi civici di pesca, acque soggette a diritti demaniali di pesca o esclusivi diritti di pesca gestiti dalla F.I.P.S.A.S.

L'Ufficio Caccia e Pesca della Provincia di Cuneo ha pubblicato alcuni quaderni tecnici su problematiche legate alla popolazione ittica presente lungo i principali corsi d'acqua provinciali:

- ⇒ *“Progetto di tutela e recupero del temolo nel Fiume Stura di Demonte”*. GRAIA S.r.l. 2001.
- ⇒ *“Progetto di tutela e recupero del temolo nei corsi d'acqua della provincia di Cuneo”*. GRAIA S.r.l. 2002.
- ⇒ *“Linee guida per la gestione dei salmonidi nelle acque della provincia di Cuneo”*. GRAIA S.r.l. 2005.
- ⇒ *“Linee guida la gestione della fauna ittica e degli ecosistemi fluviali in provincia di Cuneo”* GRAIA S.r.l. Ivan Borroni e Sergio Costagli, 2006.

Utili ragguagli possono essere ottenuti dalle associazioni piscatorie locali, in molti casi queste informazioni - congiuntamente alla conoscenza dell'ecologia delle specie - possono essere di aiuto per definire la reale distribuzione delle numerose specie ittiche lungo un corso d'acqua. Spetta all'ittiologo valutare queste informazioni, contestualmente alle diverse situazioni ambientali ed a quanto verificabile direttamente lungo il corso d'acqua con puntuali monitoraggi.

INDAGINE TRAMITE CAMPIONAMENTI.

Le informazioni di tipo qualitativo riguardano la composizione specifica della comunità ittica presente e, per ottenerle, è necessario eseguire controlli diretti tramite una corretta campagna di campionamenti ittici. Questi sono effettuati con elettropesca, utilizzando un elettrostorditore a corrente continua o corrente pulsata a voltaggio modulabile (di solito i parametri entro cui si opera sono 0.3 - 1.5 A, 150-380 V, 10-100 Hz). In casi particolari, si possono prevedere anche l'utilizzo di reti a cattura passiva.

Di fondamentale importanza è la scelta dei tratti dove compiere le osservazioni di controllo, infatti, è necessario selezionare quelle zone che siano rappresentative sia dell'ambiente acquatico sia delle diverse specie ittiche che tendono a localizzarsi soprattutto a valle dell'ostacolo.

In definitiva i campionamenti ittici di tipo qualitativo, forniscono informazioni sulla composizione della comunità ittica, ma, di norma, mostrano anche una stima dell'abbondanza e della struttura delle popolazioni delle specie ittiche rinvenute.

Per conoscerne in dettaglio quali sono la struttura e la dinamica di una popolazione ittica, ovvero la distribuzione delle diverse classi d'età di tutti gli individui di entrambi i sessi che costituiscono una specifica popolazione e le modalità con le quali si modifica nel tempo, sono necessari campionamenti di tipo quantitativo. In generale, ogni specie

ha determinate potenzialità di sopravvivenza che dipendono dalla propria biologia e valenza ecologica del corso d'acqua; la popolazione di una determinata specie quindi si struttura rispondendo ad una serie di pressioni ambientali (*pressioni biotiche*) che agiscono su essa. I fattori di disturbo che una popolazione può subire, si manifestano con una destrutturazione in termini quantitativi e qualitativi.

Nel caso di sbarramenti realizzati lungo i corsi d'acqua, è attendibile che le locali interruzioni di continuità possono comportare la separazione parziale o totale delle popolazioni ittiche presenti. In pratica, una separazione parziale si ha quando lo sbarramento possiede un'altezza che lo rende insuperabile dai pesci che stanno a valle, ma non è impedita la discesa di quelli che si trovano nella porzione superiore; si ha la separazione totale quando il passaggio è impedito in entrambi i sensi (per esempio in molte dighe). In questi casi può quindi non essere sufficiente conoscere solo se la determinata specie ittica sia presente, ma diventa importante sapere se le due popolazioni - quella a valle e quella a monte - risultanti dalla frammentazione dovuta allo sbarramento, siano in grado di sviluppare completamente le proprie potenzialità demografiche strutturandosi in modo naturale.

CARATTERI DELLO STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO.

Lo studio dei parametri idrologici ed idraulici per progettare passaggi per pesci, ha finalità diverse dagli studi che vengono effettuati per la progettazione di altre opere idrauliche come ponti od opere di difesa fluviale per le quali generalmente sono di interesse gli studi delle portate di massima e di minima e la stima dei periodi di ritorno delle piene. Se le opere idrauliche destinate alla regimazione del corso d'acqua, debbono essere dimensionate soprattutto per le portate di piena, calcolate con tempi di ritorno assegnati, questi aspetti sono marginali per la progettazione di un passaggio per pesci. Tuttavia lo studio dell'idrologia di un corso d'acqua è la base per la corretta calibrazione del funzionamento della scala risalita ittica.

Deve essere studiato il comportamento del fiume soprattutto in particolari periodi dell'anno nei quali è atteso il movimento migratorio delle specie ittiche da valle verso monte: di particolare interesse sono le portate minime e medie. Deve essere ben chiara la scelta delle *specie target* perché intorno ad esse si progetta il manufatto di risalita.

Lo studio idrologico deve contenere i seguenti dati:

- ⇒ Livelli idrici di riferimento a monte ed a valle dello sbarramento;
- ⇒ variazione del livello a monte e valle dello sbarramento;
- ⇒ portata media nel periodo migratorio.

I *livelli idrici* di riferimento a monte e a valle dello sbarramento, individuano il battente idrico di funzionamento ottimale del passaggio; in sostanza si esegue una previsione di comportamento dell'opera al mutare del livello di portate del corso d'acqua.

Il passaggio per pesci deve essere in grado di assorbire le variazioni naturali di livello idrico a monte e valle dell'ostacolo, garantendo comunque un funzionamento ottimale

entro limiti prefissati: le bocche di presa e restituzione saranno quindi tarate su livelli idraulici ben determinati.

La conoscenza delle variazioni di livello a monte e a valle, serve ad individuare - entro quali limiti di magra o di piena - la struttura sarà ancora attiva ed efficace. Ovviamente si stabiliscono dei margini, poiché non serve dimensionare un'opera che sia ancora efficace durante la piena, quando la fauna ittica comunque è impossibilitata a muoversi. Nel caso contrario, quando il fiume va in regime di magra, la struttura potrebbe essere operativa, ma la fauna ittica potrebbe anche non spostarsi perché ha già compiuto i movimenti migratori.

La *portata media* nel periodo migratorio è infine un requisito essenziale per assegnare la cosiddetta *portata di alimentazione* con la quale il passaggio per pesci "lavora" in maniera ottimale; l'*attrattività* della scala di risalita è legata alla valutazione della *portata di alimentazione*.

Se, il corso d'acqua ha una portata nettamente superiore a quella utilizzata per il passaggio per pesci, l'*attrattività* sarà difficilmente individuabile e il pesce - non riuscendo a localizzarlo - con ogni probabilità si limiterà a stazionare nei pressi dello sbarramento. Generalmente la portata da destinare al passaggio per pesci deve essere un valore compreso fra il 1% - 5% della portata media nel periodo migratorio.

In caso di sbarramenti di derivazione (idroelettrico, idropotabile, irriguo, ecc.), normalmente è richiesto (Regolamento regionale 8/R luglio 2007) di alimentare il passaggio con una portata corrispondente al Deflusso Minimo Vitale (DMV) stabilito nel disciplinare di concessione, o con una sua quota parte.

Il dimensionamento delle parti componenti la scala ittica (bacini, fenditure, scarichi, ecc.) si calcola sulla quantità d'acqua assegnata per l'alimentazione della scala, compatibilmente con i limiti di velocità e di dissipazione energetica ammissibili e dipendenti dalle esigenze delle *specie target*.

Oltre all'andamento (trend) delle portate medie annue nei periodi primaverile ed autunnale, è importante anche la conoscenza delle curve di durata in modo da poter individuare per quanti giorni/anno è garantito il funzionamento del passaggio per pesci con una *portata di alimentazione* assegnata.

CARATTERISTICHE DELLO STUDIO GEOMORFOLOGICO.

Lo studio delle caratteristiche geomorfologiche del corso d'acqua deve essere effettuato nella zona ove si prevede la realizzazione del passaggio per pesci. L'analisi della dinamica fluviale è utile ad identificare la stabilità delle sponde, le dinamiche di scavo e deposito dei materiali alluvionali, la forma che assume l'alveo a differenti livelli idrici. Inoltre, lo studio del trasporto solido diventa un requisito utile alla messa a punto di dispositivi di protezione dagli inerti fluitati, nonché per la programmazione temporale delle operazioni di manutenzione.

Il trasporto di ghiaia e ciottoli, tipico soprattutto di corsi d'acqua pedecollinari e pedemontani, può inficiare il funzionamento di un passaggio per pesci. Con la conoscenza del trasporto solido si possono prevedere schermi e pennelli in modo che il materiale fluitato non entri nel passaggio, oppure vi passi soltanto quello di dimensioni minori che non ne compromette il funzionamento.

Per definire le caratteristiche del trasporto solido può essere svolto lo studio delle caratteristiche sedimentologiche¹² che consiste nel rilievo dei sedimenti presenti nell'alveo e sulle sponde in corrispondenza dell'area ove si progetta l'opera. La metodologia di misurazione si basa su prelievi (campioni) del materiale litoide con riconoscimento e successiva identificazione della classe granulometrica corrispondente. Lo scopo dell'analisi è definire quali sono le classi diametriche più rappresentate.

Da un punto di vista operativo il rilievo può essere fatto disponendo uno o più *transect line*¹³ trasversali al senso di scorrimento della corrente e lungo le sponde nell'area di indagine. Lungo la linea trasversale dell'alveo, il campione di sedimento deve essere raccolto a distanza prefissata e quindi determinato per classe diametrica; durante queste operazioni, normalmente è utilizzata una griglia di setaccio e si classifica il materiale in apposita tabella (Allegato 1).

Visto che i sedimenti fini come sabbie e limo generalmente non invalidano il funzionamento di un passaggio per pesci, (vengono dilavati dalla stessa portata di alimentazione) non interessa la classificazione di materiale minuto che pertanto può non essere considerato. Diventa essenziale, nella progettazione, una strategia di protezione dall'intasamento della rampa ittica per quei corsi d'acqua caratterizzati da elevato trasporto di ciottoli e ghiaie.

La scelta progettuale di un'opera deve richiedere una minima manutenzione e che la struttura della rampa sia il più possibile autopulente.

Caratteristiche dello studio ambientale.

Gli studi riguardanti l'ittologia, l'idrologia e la geomorfologia fluviale debbono essere accompagnati e contestualizzati in uno studio generale dell'ambiente caratterizzante il corso d'acqua a monte e a valle della zona d'intervento. Lo scopo è approfondire la conoscenza delle caratteristiche e le peculiarità del corso d'acqua, e quei fattori fisici che possono modificare la morfologia fluviale nel breve e nel lungo periodo.

La presenza di opere idrauliche che variano il regime del corso d'acqua a monte dello sbarramento (per esempio dighe, captazioni, ecc.), può produrre un regime delle portate differente rispetto a quello naturale. In questi casi, oltre alla conoscenza dei parametri già esposti, è anche importante conoscere il programma di rilasci (per esempio le dighe), le modalità di gestione delle opere di presa (pulizia, blocco della captazione) poiché il corso d'acqua potrebbe subire modifiche rispetto alle osservazioni idrologiche fino a quel momento svolte.

La stessa tipologia di sbarramento sul quale si sta operando, comporta lo studio di accorgimenti tecnici per il corretto funzionamento del passaggio artificiale, per esempio nel caso di una traversa esistente - priva di paratoie ed organi mobili - si dovranno attentamente prevedere le escursioni di livello idrico e progettare un'opera in grado di lavorare con notevoli variazioni di portata.

¹² D.G. R. 13/05/2013, n. 24-5793 "Approvazione del Programma Generale di Gestione dei Sedimenti - Stralcio torrente Maira". Successivamente, con D.G.R. n. 56-10699 del 02/02/2009, la Regione ha individuato altri corsi

d'acqua meritevoli di attenzione per quanto riguarda il tema dei sedimenti. Sono così stati individuati i principali corsi d'acqua della provincia di Cuneo: Maira, Varaita, Stura di Demonte, Tanaro, oltre ad alcuni tratti dei torrenti Gesso e Mellea.

¹³ Campionamento e analisi granulometrica dei sedimenti da trasporto solido.

Nel caso invece di uno sbarramento per uso diverso, ad esempio idroelettrico, la presenza di automatismi ed organi mobili potrà permettere una gestione automatizzata dell'opera con controllo e regolazione continua dei livelli. In questo caso si potranno prevedere paratoie mobili autoregolanti in relazione al livello d'invaso del bacino a monte. In riferimento alle peculiarità ecologiche del corso d'acqua, si sottolinea che lo studio dei mesohabitat, delle zone adatte alla frega, della fauna macrobentonica¹⁴, sono materia di supporto a sostegno di precise scelte operative che stanno a monte della progettazione.

Un'analisi approfondita dell'ambiente fluviale può anche condurre alla scelta di non intervenire, come nel caso di tratti a monte dell'ostacolo che non presentano caratteristiche idonee alla riproduzione della fauna ittica. In un ambiente fluviale scadente, ancor prima di realizzare un passaggio artificiale, si dovrebbero dirigere gli sforzi prioritariamente verso altre direzioni, come la depurazione delle acque e la riqualificazione delle fasce perfluviali¹⁵. Al contrario, un'attenta analisi delle sequenze *riffle and pool* può essere un utile modello per mettere in opera un passaggio con elevate caratteristiche di naturalità tramite l'utilizzo di materiale lapideo reperito in alveo.

Le tipologie di passaggi artificiali per pesci, vengono classificate - secondo l'*European Inland Fisheries Advisory Commission Working Party for Fish Passage Best Practises* - in due macro-gruppi:

PASSAGGI NATURALISTICI (*dose to nature flshpasses*).

Tipologie 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. Queste opere possono essere realizzate anche con tecniche di ingegneria naturalistica.

STRUTTURE SPECIALI (*special flshpasses*).

Opere che permettono il passaggio dei pesci da valle a monte e viceversa, senza ricostituire però la continuità fluviale. I pesci vengono semplicemente spostati passivamente oppure attivamente, ma il fiume continua a rimanere sostanzialmente interrotto dallo sbarramento (per esempio una diga).

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

Le scale di rimonta, come tutti gli altri tipi di passaggi, richiedono una manutenzione regolare: la formazione di ostruzioni possono causare l'intasamento delle fenditure dei bacini impedendo il passaggio dei pesci.

¹⁴ La fauna macrobentonica è caratterizzata dalla presenza di organismi che vivono almeno una parte della loro vita in acqua e sono capaci di resistere alla forza della corrente. La loro taglia supera, salvo rare eccezioni, il mm e colonizzano, a seconda delle specie, sia ambienti di superficie sia le acque profonde.

¹⁵ Fascia di territorio localizzata topograficamente lungo il corso d'acqua, immediatamente esterna all'alveo di morbida. Nell'ambito della fascia perfluviale si collocano, se presenti, le formazioni riparie arbustive e arboree.

Passaggi ittici

PASSAGGIO A FENDITURE VERTICALI.

Generalmente è costituito da un canale in muratura con setti divisorii dello stesso materiale oppure legno o metallo con una o due fenditure che si estendono per tutta l'altezza della parete. Questa tipologia - indicata per piccoli, medi ed elevati corsi d'acqua - risulta adatta a far fronte ad elevate variazioni di livello d'acqua senza compromettere la propria efficacia.

⇒ Vantaggi/svantaggi.

Il passaggio può essere dimensionato per grandi portate, risultando molto attrattivo. Presenta minori rischi di intasamento delle fenditure ed attualmente rappresenta il miglior tipo di passaggio, essendo adatto per tutte le specie ittiche; può essere utilizzato anche da gamberi di fiume (*Austroptamobius pallipes*) ed invertebrati se il fondo viene naturalizzato con pietrame misto.

PASSAGGIO A BACINI SUCCESSIVI.

Generalmente è una struttura realizzata in c.a. con setti divisorii che possono essere in muratura, legno o metallo; i setti sono caratterizzati da una fenditura laterale ed un orifizio (luce sottobattente) sul fondo. Le pareti, a spigoli arrotondati, presentano le fenditure e gli orifizi alternati a destra e a sinistra. Il passaggio a bacini successivi può essere utilizzato per piccoli e medi salti d'acqua risultando adatto per sbarramenti non eccessivamente elevati.

⇒ Vantaggi/svantaggi.

Questa tipologia si adatta bene per tutte le specie ittiche se le dimensioni dei bacini sono scelte in funzione della specie target da favorire. Per i detriti fluitati nei bacini, può verificarsi l'intasamento degli orifizi di fondo.

CANALI ARTIFICIALI.

Canali in c.a. o in muratura, legno o metallo, realizzati con deflettori sagomati a "U" posti con angolazione di 45°. I canali possono presentare una larghezza variabile tra 0,60 - 0,90 m, pendenza massima 1 = 1:5 e lunghezza di circa 6 - 8 m. Oltre queste lunghezze è previsto l'uso di *resting pool*¹⁶ per la sosta del pesce. Sono utilizzate portate di almeno 250 l/s. Il canale artificiale è adatto per piccoli dislivelli soprattutto per ripristinare vecchi mulini ove vi è poco spazio.

⇒ Vantaggi/svantaggi.

Occupava poco spazio e crea correnti molto attrattive. Risulta non molto adatto a specie ittiche deboli o pesci molto piccoli; il canale risulta invalicabile per la fauna bentonica. Non si usa in presenza di forti variazioni di livello del fiume e utilizza portate relativamente consistenti.

CANALE BY-PASS.

Corso d'acqua artificiale in aggiramento ad uno sbarramento, utilizzabile per tutti i dislivelli, ma con pendenze massime inferiori al 2 - 3%. Larghezza e portata minime sono rispettivamente di circa m 1,50 e di circa 100 l/s per metro di larghezza. Il by-pass

¹⁶ Bacini di riposo

è adatto a superare qualsiasi ostacolo se vi è sufficiente spazio planimetrico sulla sponda. Necessita spesso di organi di regolazione a monte, soprattutto nel caso in cui vi siano obiettivi multipli di trattenimento delle acque.

⇒ Vantaggi/svantaggi.

Richiede molto spazio per la bassa pendenza di fondo, spesso occorrono anche lavori accessori come la sistemazione delle sponde, ponti o passaggi pedonali e per mezzi meccanici. Superabile per tutte le specie, può anche costituire un habitat semi-naturale; costituisce, nel caso di grandi interventi, vere e proprie opere di riqualificazione fluviale.

OPERE CHE OCCUPANO PARZIALMENTE LA LARGHEZZA DI UNO SBARRAMENTO GIÀ ESISTENTE.

Sono realizzate con una posa uniforme di massi ed un'aggiunta di *boulders* o *weirs* per diversificare il fondo e ridurre la velocità di deflusso. Mediamente presentano una larghezza di circa due metri, le altezze superabili sono dai tre ai quattro metri su una pendenza massima del 6 - 7% (solo per brevi tratti) ma mediamente del 3 - 5%. La portata minima raccomandata è di circa 100 l/s per metro di larghezza.

⇒ Vantaggi/svantaggi

La rampa, presente una buona capacità di deflusso e minime misure di manutenzione. Questa tipologia è adatta per qualsiasi tipo di specie ittica, individuate le specie target, occorre un buon dimensionamento idraulico. In periodo di magra - se gli spazi tra i massi non vengono intasati a regola d'arte - possono crearsi fenditure ed il fondo diventa instabile per infiltrazione d'acqua.

RAMPA IN PIETRAME.

La rampa, ad alta scabrezza, è realizzata per tutta la larghezza del corso d'acqua. Presenta una pendenza media del 3 - 5%, massima ammissibile del 6 - 7% limitatamente a brevi tratti con l'altezza superabile di circa due o tre metri massimi. La portata minima di alimentazione può essere di circa 200 l/s per metro di larghezza della rampa. La rampa in pietrame previene l'erosione di sbarramenti stabilizzando il letto dell'alveo.

⇒ Vantaggi/svantaggi.

Minime operazioni di manutenzione, buon inserimento paesaggistico e di facile realizzazione per la reperibilità dei materiali. La rampa è superabile dai pesci in tutte le direzioni secondo la velocità e pendenza di progettazione assegnate per le specie target. Durante i periodi di magra può restare in secca se non vengono ben intasati gli spazi tra i massi.

Ognuna di queste tipologie di passaggi per pesci, può essere distinta secondo due criteri costruttivi: la *forma*, ovvero la geometria del manufatto ed il *funzionamento idraulico*.

La prima classificazione (geometria del manufatto) è organizzata sulle modalità costruttive del profilo di fondo:

RAMPA CON PROFILO A MASSI DISPERSI: è realizzata con una pendenza di fondo ad alta scabrezza, senza l'aggiunta di massi di dimensioni maggiori o altre strutture di ritenzione emergenti dal pelo d'acqua. Il materiale costituente la rampa non è bloccato, ma soltanto gettato casualmente e modellato sul fondale.

RAMPA CON PROFILO A MASSI BLOCCATI: il materiale costituente la rampa è bloccato a monte e valle con pali d'acciaio o micropali che spesso ancorano dei massi di dimensioni maggiori aventi funzione esclusivamente statica. Il materiale è selezionato e disposto ordinatamente, il funzionamento idraulico è simile alla rampa con profilo a massi dispersi.

RAMPA CON PROFILO A POOL AND WEIR: la pendenza di fondo è segmentata da soglie in pietrame formanti dei bacini, in sostanza il dislivello monte/valle è ripartito in molti piccoli dislivelli come in un passaggio tipo bacini successivi. Il funzionamento idraulico è diverso da quello delle tipologie precedenti perché l'opera funziona come un passaggio tecnico a bacini successivi.

La seconda classificazione invece ordina le opere in base al comportamento idraulico. In questa classificazione le tipologie di rampa sono sostanzialmente due: rampe a *single boulders* e rampe a *pool and weir*.

La *single boulders* è una rampa in pietrame, con pendenze di fondo comprese tra il 3% ed il 5% (solo in casi eccezionali e per brevi tratti si raggiunge il 6-7%) con presenza di massi di dimensioni maggiori (*boulders*), ordinati e disposti secondo determinati criteri idraulici sviluppati da pag. 26. I massi agevolano la rimonta del pesce, realizzando profili idraulici costituenti veri proprio corridoi migratori, nei quali il pesce preferenzialmente nuota o trova riparo secondo la velocità e la turbolenza che si sviluppano lungo la rampa. I massi non costituiscono dei regolari bacini, pertanto il pelo libero dell'acqua lungo tutta la rampa si uniforma su una pendenza costante per la portata ottimale di dimensionamento; in casi critici si possono localizzare dei risalti idraulici a valle di ogni masso con conseguente variazione del tirante idrico.

La *pool and weir* invece è caratterizzata da una rampa in pietrame in cui il dislivello è ripartito in bacini regolari con l'utilizzo di soglie realizzate con pietrame di dimensioni maggiori di quello usato per il fondale. Il comportamento idraulico avviene come in un passaggio tecnico a bacini successivi (*pool and weir*). La pendenza di fondo può variare tra il 4 e l'8%.

Schema planimetrico di una rampa *single boulders* (a sinistra) e di una rampa *pool and weir* (a destra).

FIGURA

Passaggi rustici

Nelle scale rustiche l'energia cinetica e la velocità di corrente, sono dissipate dalla elevata rugosità delle pareti e dalla pavimentazione costituita da pietre grezze che formano il fondo del passaggio.

L'energia viene dissipata anche con la creazione - sul letto - di bacini formati da pietre disposte in file allineate o da una serie di soglie disposte ad intervalli regolari. Da un punto di vista pratico, è difficile limitare la velocità massima a livelli inferiori a 1.20 – 1.50 m/s; la velocità media può essere stimata utilizzando un coefficiente di scabrezza di tipo Manning o Strickler.

E' importante seguire alcune regole per garantire una buona stabilità delle strutture ottimizzandone la funzionalità:

QUALITÀ DEI MASSI.

Come per tutti le opere nei fiumi o torrenti, è necessario utilizzare una pietra di ottima qualità, dura, pulita, non fessurata, resistente all'acqua ed alle aggressioni esterne, dunque non friabile o alterabile nel tempo. I massi utilizzati devono soddisfare alle esigenze di resistenza all'usura (coefficiente micro-Deval)¹⁷, di resistenza all'abrasione (coefficiente Los Angeles, UNI EN 1097-2), di resistenza alla *compressione di frammentazione dinamica* e a fenomeni di abrasione accelerata.

MASSI DISTRIBUITI REGOLARMENTE.

In questa configurazione, l'energia viene dissipata dalla disposizione di blocchi isolati più o meno regolarmente distribuiti sul letto ruvido della rampa. Le spaziature longitudinali e trasversali tra i blocchi sono molto ravvicinate ma lo spazio longitudinale è leggermente superiore a quello trasversale.

Ogni blocco genera un vortice che deve essere in grado di costituire una zona di stazionamento e di riposo per i pesci. L'esistenza di un letto di elevata rugosità, rende possibile la riduzione della velocità del flusso vicino al fondo e offre buone zone di sosta, facilitando il passaggio lungo la rampa anche alle piccole specie rhéophiles.

ALTEZZA D'ACQUA MINIMALE

L'altezza d'acqua minimale del flusso lungo la rampa deve permettere la nuotata senza stress del pesce. Secondo le specie considerate, si adotterà un'altezza d'acqua minima da 0.20 m a 0.40 m (Tab. 1). L'altezza d'acqua è determinata soprattutto dalla portata unitaria, dalla pendenza e dalle caratteristiche dei blocchi (concentrazione, forme della sezione orizzontale).

VELOCITÀ MASSIMA DI PORTATA E VELOCITÀ DI FLUSSO

I campi di velocità in queste particolari tipologie di scala rustica, sono molto eterogenei. Si possono caratterizzare due campi di velocità: la prima è la velocità massima osservata nel flusso libero (cioè senza ostacoli) lungo la rampa, la seconda è la velocità presente nella sezione minima del flusso fra i blocchi, cioè nelle zone di passaggio obbligato del pesce). Queste due velocità, sono in funzione sia della pendenza sia della

¹⁷ La prova micro-Deval (UNI EN 1097-1) consente di misurare l'usura per attrito dinamico.

concentrazione del flusso a ridosso dei massi e della portata massima. I valori ammissibili sono in funzione della capacità natatoria delle specie ittiche individuate come *specie target* (Tab. 1).

POTENZA DISSIPATA MASSIMALE

I pesci, in particolare le piccole specie, devono essere in grado di stazionare - riposando - dietro i blocchi; in questa situazione, il livello di turbolenza deve essere minimo. La *potenza dissipata* per unità di volume (Watt/m^3) costituisce un parametro facilmente calcolabile per quantificare le condizioni di movimento e rimescolamento della portata in un dispositivo di attraversamento della corrente idrica. La *potenza dissipata* è proporzionale alla pendenza ed alla velocità di portata, il processo di dissipazione dell'energia è uniformemente ripartita sia fra i massi (purchè regolarmente disposti in file) sia nel caso di passaggi a bacini.

ASPETTI IDRAULICI

I parametri che determinano le caratteristiche dello scorrimento della portata transitante lungo la rampa sono:

La pendenza **I**;

Le caratteristiche e le dimensioni dei massi (l'altezza utile **k** e larghezza del masso sul lato volto verso la corrente **D**);

La larghezza del passaggio libero fra i blocchi **b**;

Lo spazio longitudinale delle file di blocchi **L**;

L'altezza della soglia **p**.

La formula $\theta \sim b/(b + D)$ definisce la porosità θ delle file di massi, cioè il rapporto fra la larghezza del libero passaggio fra un masso e l'altro in rapportato alla larghezza dei singoli massi (**D**). Lungo le file dei massi, il dislivello d'acqua Δh a monte e a valle del masso sono nell'ordine di **I x L**.

Per deboli portate (i massi non sono sommersi), lo scorrimento del flusso d'acqua, è caratterizzato da una regolare successione di cascatelle fra le file dei massi, i getti che si formano a livello di ciascun spazio fra i massi vengono dissipati nei sottostanti bacini della rampa.

Per valori elevati di portata (i massi sono sommersi), il regime d'acqua passa a livello torrentizio con formazione di decise turbolenze caratterizzate da forte velocità in superficie. I corridoi negli spazi longitudinali **L** delle file dei massi, perdono progressivamente la loro efficacia idraulica, tanto più rapidamente quanto la loro altezza è ridotta. Il passaggio in regime torrentizio avviene per delle sub-immersioni relative, il rapporto h/k risulta dell'ordine di 1.2.

Quando il flusso si trova nella zona di transizione **L**, la contrapposizione fra i getti provenienti dall'alto ed i getti di superficie lungo i fianchi dei massi, possono formare violente onde di rottura caratterizzate da un forte bilanciamento laterale della portata che si amplifica verso valle.

L'altezza d'acqua sulla soglia, deve essere sufficiente per permettere il passaggio dei pesci. Il carico minimo di acqua transitante sulla soglia - secondo le specie ittiche - sono poco inferiori alle altezze d'acqua minime adottate per gli scorrimenti regolarmente ripartiti: 0.30 m per la specie salmonide, la trota (*Salmo trutta*) e la lampreda e, 0.20 m per la trota fario i ciprinidi e le piccole specie.

La velocità massima dell'acqua dipende dal salto lungo l'allineamento trasversale dei massi ed è nell'ordine di $(2g \times \Delta h)^{0.5}$.

E' ammissibile limitare il salto da superare a 0.30 m (velocità massima di 2.4 m/s) per le specie salmonidi (trote e lamprede), a 0.20 m (velocità massima 2.0 m/s) per le specie ciprinidi (trote fario) e a 0.10 – 0.15 m (velocità massima 1.5 m/s) per le piccole specie.

La potenza massima dissipata ammissibile, è in funzione delle specie target individuate. Per la tipologia di scale a bacini successivi, la *potenza dissipata* va da 150 a 300 Watts/m³.

Tab.1. Criteri idraulici che si consiglia di rispettare in funzione delle specie ittiche per le scale con massi regolarmente ripartiti.

Gruppo di specie	salto massimo (m)	velocità massima nel getto d'acqua (m/s)	altezza d'acqua minima sulla soglia (m)	forza dissipata massima (W/m ³)
salmoni, trote, lamprede	0.30	2.5	0.3	500-600
trote fario	0.20	2.0	0.2	500-600
ciprinidi	0.20	2.0	0.2	300-450
piccole specie	0.10 – 0.15	1.5	0.2	200-300

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

⇒ CARATTERISTICHE DEI MASSI (D, κ).

Le caratteristiche geometriche fanno riferimento alla larghezza dei massi il cui lato più ampio è posto in direzione della corrente (flusso **D**). Si utilizzano generalmente dei massi con facce larghe fra 0.3 e 0.6 m. Il compromesso fra l'efficacia idraulica e i problemi di manutenzione e di stabilità, comportano l'adozione di altezze utili **k** da 0.60 a 0.80 m, e dei rapporti di forma **k/D** dell'ordine da 1.0 a 2.0 al massimo.

⇒ POROSITÀ E SPAZI DEI BLOCCHI.

Le porosità θ sono generalmente nell'ordine da 0.40 a 0.50. La larghezza del passaggio libero **b** fra i massi di maggior dimensioni deve essere minimo e nell'ordine di 0.30 - 0.40 m per permettere il passaggio dei pesci e limitare i rischi di intasamento da materiale fluitato.

⇒ SPAZI LIBERI FRA LE FILE DEI MASSI.

Gli spazi fra le file dei massi **L** possono variare da circa 2 m minimo, a più di 4 m per le pendenze più deboli.

⇒ ALTEZZA DELLA SOGLIA.

Si adottano generalmente delle soglie di altezza **p** da 0.25 a 0.50 m.

PRINCIPIO DI DIMENSIONAMENTO.

Il dimensionamento dipende dalla specie target individuata e dalla portata d'acqua; il flusso di portata dipende dalla particolare disposizione geometrica dei massi, dalla porosità θ della rampa e dalla pendenza della stessa. In generale, più la rampa è inclinata, più la concentrazione dei massi deve essere elevata.

La scelta della specie target impone particolari criteri idraulici da rispettare. Nel caso di più specie target, i criteri più penalizzanti sono sull'altezza minima della soglia, l'altezza

di caduta dell'acqua e la potenza massima dissipata che devono essere attentamente considerati.

Si definisce la concentrazione per $C = D^2/(ax * ay)$, la concentrazione massima corrispondente a dei blocchi combacianti quando C è uguale a 1.

Nella sottostante tabella 2, è evidenziata la concentrazione per differenti valori di spaziatura relativa ad ax/D e ay/D .

Un parametro importante per il pesce, è il *libero passaggio tra i blocchi* $b(b = ay-D)$.

Tab.2. Corrispondenza tra gli spazi relativi e concentrazione dei blocchi

Spazio relativo $ax/D \sim ay/D$	1.5	2.0	2.5	2.8	3.0	3.5	4.0	4.5	5
Concentrazione C	0.44	0.25	0.16	0.13	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04

Per ottenere un sufficiente flusso uniforme, la concentrazione dei massi deve essere tanto più forte quanto la pendenza è elevata. Con determinati valori di pendenza ed altezza dell'acqua, la portata e la velocità all'interno del flusso sono più bassi quando la concentrazione è accentuata. Le concentrazioni minime compatibili con il passaggio del pesce sono comprese tra:

0,06 ($ax/D \sim ay/D \sim 4$) e 0,16 ($ax/D \sim ay/D \sim 2,5$).

Si possono distinguere tre diverse configurazioni di flusso: *fluviale*, *torrentizio* ed in *cascata*, a questi si associano i valori della pendenza e della sub-immersione dei blocchi (rapporto altezza d'acqua media sull'altezza utile dei blocchi: h/k)

Quando la sub-immersione è inferiore a 1, il flusso rimane circoscritto fra i blocchi, lo stesso varia con la pendenza della rampa. Per basse pendenze (1-3%), il flusso è di tipo fluviale, per pendenze superiori a 4-5%, il flusso è di tipo a *cascata*. Con questa configurazione è possibile limitare l'abbassamento del livello dell'acqua aumentando la concentrazione dei blocchi.

Quando la sub-immersione relativa è superiore a 1.3, la portata può essere considerata come la sovrapposizione di due strati interagenti fra loro, uno strato inferiore giusto all'altezza dei blocchi a velocità moderata ed uno strato superiore a forte velocità.

Quando la sub-immersione relativa è compresa fra 1 e 1.3, il flusso rientra nelle due configurazioni precedenti e la linea d'acqua presenta delle accentuate ondulazioni secondo la posizione dei blocchi

Specie ittica	Pendenza	Portata unitaria minima e massima (m ³ /s/m)	Altezza d'acqua (m)	Velocità massima (m/s)	Velocità massima (m/s)	Forza dissipata (W/ m ³)
Salmoni, trote e lamprede	7% max	0.35 - 0.70	0.40 - 0.80	1.35 - 1.45	1.70 - 2.10	550 - 600
	6%	0.30 - 0.65	0.40 - 0.80	1.20 - 1.30	1.60 - 1.90	450 - 500
	5%	0.25 - 0.60	0.40 - 0.80	1.10 - 1.20	1.40 - 1.70	300 - 350
Trota fario	7% (max)	0.25 - 0.60	0.30 - 0.70	1.20 - 1.30	1.60 - 2.00	550- 600
	6%	0.20 - 0.65	0.30 - 0.80	1.00 - 1.20	1.40 - 1.90	400 - 500
	5%	0.20 - 0.60	0.30 - 0.80	1.10 - 1.30	1.30 - 1.70	300 - 350
Ciprinidi	6% (max)	0.20 - 0.45	0.30 - 0.60	1.00 - 1.20	1.40 - 1.80	400 - 500
	5%	0.20 - 0.60	0.30 - 0.80	0.90 - 1.00	1.30 - 1.70	300 - 350
	4%	0.20 - 0.50	0.30 - 0.80	0.90 - 1.00	1.20 - 1.60	200 - 250
Piccole specie	4% (max)	0.10 - 0.45	0.20 - 0.70	0.90 - 1.00	1.00 - 1.50	200 250
	3%	0.10 - 0.45	0.20 - 0.80	0.80 - 0.90	0.90 - 1.30	150 - 150

ESEMPIO DI SUPERAMENTO DI RAMPE PER GRUPPI DI SPECIE

La tabella seguente fornisce, per ogni specie ittica, la corrispondente gamma di portata unitaria minima e massima accettabile per la sopravvivenza del pesce, in funzione della pendenza della rampa e per dei blocchi di altezza utile con $k = 0.80$ m, (con faccia del masso di larghezza $D = 0.5$ m disposto con una concentrazione di $C = 0.13$).

La tabella fornisce inoltre la velocità massima e la forza dissipata della portata in funzione della pendenza e dell'altezza dell'acqua (per una concentrazione di $C = 0.13$ e blocchi di forma piana con larghezza di 0.5 m con faccia volta verso lo scorrimento dell'acqua).

Si rileva soprattutto che è la pendenza che determina le grandezze della forza dissipata: i valori che superano 400 Watts/m^3 si verificano quando la *forza dissipata* è superiore al 5%. Il campo di lavoro in termini di altezza media d'acqua, è nell'ordine di circa 0.40 m e corrisponde alla differenza tra la profondità minima accettabile per lo spazio considerato (cioè 0.20 m) e l'altezza utile dei blocchi (0.80 m).

inserisci Tab.3.

Nel caso di massi distribuiti irregolarmente – tranne per pendenze molto deboli – la gamma delle portate accettabili per specie ittiche di piccole dimensioni è limitata e diventa incompatibile con quelle specie di taglia più grande, pertanto l'altezza d'acqua risulta troppo debole.

Un modo di conservare altezze d'acqua sufficienti per le specie di pesci di grande taglia è di disporre i blocchi in file ad intervalli regolari, i singoli massi devono essere sufficientemente vicini gli uni con gli altri affinché le cascate che si formano lungo le file trasversali, siano regolari e ben localizzate. La corretta messa in opera delle soglie lungo le file, permette di garantire un'altezza d'acqua sufficiente ai piedi delle cascate e di ridurre la potenza volumetrica dissipata. Un altro obiettivo è creare dei piccoli bacini dove i pesci possono trovare delle zone di riposo. Questo tipo di dispositivo assomiglia molto ad un passaggio a bacini classici tanto che i criteri di dimensionamento sono identici a quelli dei passaggi a bacini.

RAMPE DI MASSI ADERENTI.

La rampa è costruita in massi il cui equivalente diametro mediano, può variare da 0,50 m a più di un metro (da 200 Kg a circa una tonnellata). Il masso utilizzato deve essere di forma tetraedrica, possibilmente con angoli acuti; i massi di forma cubica o a placche devono essere evitati. Dal punto di vista del movimento dei pesci, è meglio scegliere massi di forma allungata (altezze da 0.60 m ad oltre 1.20 m) posati verticalmente. Le superfici dei massi devono essere uniformi al fine di evitare spazi vuoti fra blocchi di maggiore dimensione e blocchi di piccole dimensioni. In fase di progetto è necessario specificare il rapporto lunghezza/larghezza minima e massima per definire le dimensioni complessive dell'intera rampa.

La dimensione minima dei massi (che per il loro volume garantiscono la stabilità della rampa) è in funzione sia della pendenza della stessa sia della portata massima di piena (verificandone la stabilità all'azione di trascinamento della corrente utilizzando le formule di Whittaker e Jäggi, 1986).

L'eventuale riduzione della pendenza della rampa - dal punto di vista piscicolo - migliora le condizioni di flusso delle lame d'acqua fra i massi presentando un duplice vantaggio: l'abbattimento delle velocità di portata e la diminuzione delle dimensioni dei blocchi.

Le pietre che costituiscono il corpo della rampa, sono posate, o su di un filtro (generalmente un geotessile) o su di uno strato di materiale lapideo di dimensioni intermedie tra la dimensione dei blocchi della rampa e quella del substrato che costituisce il letto del manufatto. Nel caso della messa in opera di un geotessile, è preferibile avere tra lo stesso ed i massi, due selciati di materiale tampone: il primo, in aderenza al geotessile, di ciottoli con diametri di circa 5 - 10 cm, per ricevere un secondo selciato con ciottoli di diverse pezzature con dimensioni mediamente di circa 30 - 50 cm. Questo tipo di struttura, relativamente rigida, è suscettibile di resistere a forti sollecitazioni idrauliche.

A valle della rampa, va comunque garantita la perfetta immobilità dei massi che costituiscono la soglia di partenza della rampa. La stabilità può essere fornita da una fila di pali metallici (palanchi) infissi in profondità per circa tre metri.

Per una migliore tenuta contro gli eventuali impatti di pietre trasportate dalla corrente e anche per controllare in maniera più precisa le portate transitanti sulla soglia ed evitare che una parte di portata troppo consistente filtri nella massicciata di pietre, può essere gettato un letto in calcestruzzo spesso circa cinquanta centimetri. Per una maggior tenuta del manufatto si consiglia una fila di pali battuti a monte dell'ultima soglia.

Può anche succedere che un'altra parte di portata, scorra per intensa percolazione sotto la superficie della rampa. Dopo lo scavo, è importante, interporre fra il terreno naturale e lo strato di massicciata in pietre un geotessile filtrante a bassa deformazione. La funzione di drenaggio è assolta più efficacemente interponendo ad una membrana in geotessile, una seconda in geotessile.

LE OPERE A BLOCCHI ISOLATI.

I blocchi isolati, regolarmente distribuiti o disposti in fila, devono presentare una forma allungata (tale forma permette una buona dissipazione di energia) in modo che possano essere ancorati ad una profondità $> 0,5$ volta la loro altezza utile. Prima della messa in opera, è necessario conoscere peso e dimensioni dei massi al fine di costituire un insieme regolare di blocchi ben collocati ed allineati gli uni con gli altri.

I massi dovranno essere posti in piedi, ritti uno per uno, legati fra loro utilizzando un cavo d'acciaio rispettando la spaziatura definita in progetto e dalle indicazioni fornite dal Direttore dei lavori in fase di cantiere.

I grossi blocchi posizionati verticalmente sono più vulnerabili al ribaltamento perché sono sempre suscettibili di essere violentemente colpiti da pietre trasportate dalla corrente. Il fissaggio d'un blocco deve permettere di renderlo assolutamente solidale specialmente con i piccoli massi situati appena a valle. E' possibile bloccare blocchi di grandi dimensioni con pali di ancoraggio in metallo di circa cinque centimetri di diametro ed affondati per due o tre metri.

La stabilità del manufatto dipende dalla qualità dei lavori, dalla realizzazione ad arte delle singole opere e, soprattutto dalla posa in opera dei massi con protezione contro fenomeni erosivi e/o di scalzamento a valle.

In fase di cantiere, dovrà essere evitata qualsiasi forma di inquinamento del corso d'acqua¹⁸.

¹⁸ D.G.R. n° 75-2074, 17 maggio 2011.

AGGLOMERATI DI MASSI ADERENTI.

h_{am}	carico a monte sulla sommità della soglia
h	altezza dell'acqua in scorrimento uniforme
V_{deb}	velocità di portata
q	portata unitaria ($m^3/s/m$)
K_s	coefficiente di Strickler
μ	coefficiente di portata (formula scolmatore/sfioratore)
l	pendenza longitudinale del fianco
g	accelerazione di gravità ($9.81 m/s^2$)
M	massa di roccia (Kg)
P_v	potenza dissipata (W/m^3)
ρ_s	volume degli agglomerati di pietra ($\sim 2650 Kg/m^3$)

Il diametro equivalente di agglomerati di pietre di massa M è per definizione il diametro della sfera equivalente:

$$D = \left(\frac{6M}{\rho_s \pi} \right)^{1/3}$$

Corrispondenza tra massa dell'agglomerato di pietre e diametro equivalente:													
Massa dell'agglomerato (Kg)	50	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Diametro equivalente (m)	0.33	0.42	0.56	0.71	0.90	1.03	1.13	1.22	1.29	1.36	1.42	1.48	1.53

La relazione fra il carico a monte h_{am} sulla sommità della rampa e la portata unitaria q è rappresentata dalla formula di tipo scolmatore/sfioratore:

$$q = C \times \sqrt{2g} \times h_{am}^{3/2}$$

Nel caso di agglomerati di massi liberi, una frazione non trascurabile di flusso, filtra attraverso gli spazi vuoti fra i massi, di conseguenza è molto difficile determinare con precisione la relazione tra carico d'acqua a monte e la portata effettiva che fluisce lungo la rampa, considerata la difficoltà a misurare l'effettiva portata e la variabilità del coefficiente di flusso.

Per il dimensionamento della rampa, è necessaria una precisa determinazione della relazione tra carico a monte e portata effettiva che passa per la sommità della soglia.

Il carico a monte h_{am} sulla sommità della rampa è considerata a partire dal livello del selciato dei massi, il valore del coefficiente di portata C è costante e prossima al valore di 0.37 (Michel Larinier, 1995).

inserisci Fig.

Relazione tra la portata a monte dell'imbocco della scala e la portata unitaria. Il valore del coefficiente di portata C è costante e prossimo al valore di 0.37)

RELAZIONE FRA L'ALTEZZA DELL'ACQUA, LA VELOCITÀ DI PORTATA E LA PORTATA IN REGIME UNIFORME.

A partire dalla sommità della rampa, la portata accelera ed il livello d'acqua diminuisce fino a stabilizzarsi in regime uniforme. Più la rampa è "rugosa" e la portata unitaria debole, più la distanza necessaria a raggiungere il regime uniforme è breve (da 3 a 4 metri per delle portate unitarie da 1 a 2 m³/s).

Studi di modelli di moto uniforme su rampe di roccia più o meno di elevata scabrezza, hanno evidenziato una notevole dispersione sia della velocità sia dell'altezza dell'acqua in scorrimento. Tuttavia questi parametri possono subire continue variazioni così abbondanti che può verificarsi che il pesce rimanga bloccato fra i massi.

La formula di Manning-Strickler è adattata al dimensionamento delle rampe in massi aderenti. La portata unitaria q è stimata in funzione del coefficiente di Strickler K_s , dell'altezza dell'acqua h , e della pendenza I :

$$q = K_s \times h^{5/3} \times I^{1/2}$$

La velocità di flusso V_{deb} è uguale a :

$$V_{deb} = q/h = K_s \times h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Il coefficiente di Strickler è stimato a partire da D65 degli agglomerati di pietre:

$$K_s = \frac{a}{D_{65}^{1/6}}$$

Il valore di a è in funzione del modo in cui sono stati disposti i massi e del loro livello di consolidamento.

Per dei massi diversificati fra loro come dimensioni e disposti uno ad uno non aderenti fra loro e con elevata scabrezza, il valore di a è vicino a 21.

Per dei massi disposti in modo regolare uno a uno ed aderenti fra loro, il valore di a è vicino a 15.5

Le formule di questo paragrafo sono valide per delle pendenze fra 2 e 15%.

inserisci Figura

Relazione fra la portata unitaria e l'altezza d'acqua per differenti inclinazioni della rampa.

inserisci Figura

Relazione fra la velocità di portata e l'altezza d'acqua per differenti inclinazioni della rampa.

STABILITÀ DEI MASSI ISOLATI

D	larghezza faccia del masso verso la corrente
K	altezza totale del blocco (m)
k	altezza utile del blocco (m)
S	superficie della faccia opposta al verso della corrente di un masso isolato (m ²). $S \sim k \times D$
Vol	volume di un masso (m ³). $Vol \sim K \times D^2$ considerato il blocco prossimo a un parallelepipedo
I	pendenza della rampa
h	altezza dell'acqua (m)
V _{crit}	velocità critica per la stabilità dei massi isolati (m/s)
q _{max}	portata unitaria massima permessa al di sopra dei massi (m ³ /s/m)
ρ	massa volume dell'acqua (1000 Kg/ m ³)
ρ _s	massa volume dei massi (2650 Kg/ m ³)
R	punto di ribaltamento di un blocco isolato
O	centro della superficie di un masso isolato opposto alla direzione della corrente
G	baricentro di gravità di un masso
P	base di un masso (N)
F	forza esercitata su di un blocco isolato (N)
L _F	braccio di leva della forza F applicata in C, altezza di R (M)
L _P	braccio di leva della base P applicata in G, altezza di R (m)
C _T	coefficiente di trascinamento dei blocchi isolati

La stabilità dei massi può essere approssimativamente stimata in funzione del rapporto fra la forza esercitata dal flusso **F** sul blocco tendendo a farlo basculare ed il piede del blocco **P** tendente a mantenerlo sul posto.

inserisci FIGURA

Forze esercitate per il flusso di corrente e la gravità su di un blocco isolato.

Il piede d'un blocco immerso s'applica nel centro di gravità G che è uguale a:

$$P = (\rho_s - \rho) \times g \times Vol$$

La forza esercitata dal flusso sul blocco si applica nel centro O della superficie del blocco opposto alla direzione del flusso. La forza esercitata dal flusso sul blocco dipende dalla velocità del flusso V:

$$F = \frac{1}{2} \rho \times C_T \times S \times V^2$$

Il coefficiente di trascinamento C_T è in funzione della forma dei blocchi, varia da 1.2 per dei blocchi a faccia arrotondata a 1.4 per dei blocchi a faccia piana.

Il ribaltamento del blocco è considerato attorno al punto/perno R. Il blocco è stabile tale che:

$$F = L_F < P \times L_P$$

La velocità critica V_{crit} di stabilità per dei blocchi, che non dovrà superare:

$$V_{crit} = \sqrt{\frac{2 \times (\sigma_s - \sigma) \times g \times Vol \times L_p}{\sigma \times C_\tau \times S \times L_F}}$$

La velocità critica può essere comparata alla velocità di flusso di piena. Tuttavia sono gli impatti dovuti al notevole e violento trasporto solido che provocano i più grandi rischi di instabilità dei blocchi. Per la stabilità degli stessi, è importante ancorare i blocchi con una profondità compresa da 0.5 a 1 volte la loro altezza utile k , oppure fra 0.3 e 0.5 la loro altezza totale K per ottenere alla base del masso una sufficiente resistenza sul lato investito dalla corrente.

Nei casi in cui la stabilità dei blocchi considerati risulta incerta, è possibile adottare blocchi di maggior dimensioni affondandoli con maggior profondità o ancorarli a pali in acciaio infissi nel terreno. Tuttavia l'intera struttura dei blocchi e della massicciata deve conservare una certa flessibilità per adattarsi a possibili cedimenti del terreno.

STABILITÀ DEI BLOCCHI.

Si può utilizzare la formula di Whittaker e Jäggi (1986) confermata dai test effettuati su modelli da M. Larinier (1995) che fornisce la portata unitaria massima consentita q_{max} in funzione della pendenza I della scala e del D_{65} del selciato della rampa.

$$q_{max} = 0.308 \times \left[g \times \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \times D_{65}^3 \right]^{0.5} \times I^{-7/6}$$

Applicando i valori numerici di g , ρ_s e ρ , si ottiene:

$$q_{max} = 1.24 \times D_{65}^{1.5} \times I^{-7/6}$$

Questa formula contiene un margine di sicurezza del 20%, tuttavia Gebler (1991) evidenzia che la portata massima accettabile può essere aumentata di un fattore da 0.7 a 2.

inserirsi Figura

Limite di stabilità dei blocchi in funzione del D_{65} e della pendenza secondo la formula di Whittaker e Jäggi (1986).

CONDIZIONI DI FILTRO FRA IL LETTO NATURALE DELL'ALVEO E GLI STRATI DI MATERIALE SCIOLTO LUNGO LA BASE DELLA RAMPA DI RISALITA ITTICA.

Generalmente conviene disporre un filtro naturale costituito da pietre a piccola e media pezzatura (strato di transizione) tra la base dei blocchi che costituiscono la massicciata della scala ittica e gli elementi di terreno naturale per evitare l'affossamento dell'intera struttura. Questo strato di transizione (strato filtrante) deve possedere delle caratteristiche granulometriche tali da consentire o meno il passaggio dei materiali sciolti del terreno naturale, generalmente sabbia e ghiaia, attraverso gli interstizi inferiori dei blocchi della rampa. Affinchè le particelle di terreno naturale degli strati più profondi non migrano - dal basso verso l'alto - attraverso quelli dello strato di transizione (strato superiore), si deve avere:

Per delle granulometrie dello strato di base:

$$D_{15, F} / D_{15, B} > 5$$

$$D_{15, F} / D_{15, B} \leq 5$$

$$D_{15, F} / D_{15, B} \leq 25$$

$$D_{15, F} / D_{15, B} \leq 4$$

(per granulometrie dello strato di base con blocchi molto serrati/combacianti. Terzaghi, 1976).

Il D_{15} dello strato di transizione non dovrà superare da 4 a 5 volte il D_{85} degli elementi del carico solido del corso d'acqua.

AGGLOMERATI DI PIETRE REGOLARMENTE RIPARTITE.

ax	spaziatura longitudinale tra i blocchi, da asse ad asse (m)
ay	spaziatura laterale tra i blocchi, da asse ad asse (m)
b	larghezza del passaggio libero tra i blocchi (m)
D	larghezza della faccia del singolo masso (m)
K	altezza totale del masso (m)
k	altezza utile dei blocchi (m)
C	concentrazione dei massi
l	pendenza della rampa
h	altezza dell'acqua (m)
Vdeb	velocità di flusso nelle sezioni libere (m/s)
Vdebmax	velocità massima di flusso nelle sezioni minime di scorrimento (m/s)
q	portata unitaria (m ³ /s/m)

VARIABILI ADIMENSIONALI.

Le relazioni fra le differenti variabili sono presentate sotto forma adimensionale. Le lunghezze riferite sono la larghezza dei blocchi **D**, la loro altezza media utile **k** (altezza a partire dal fondo).

L'altezza d'acqua adimensionale **h*D**, la portata unitaria adimensionale **q*D** e la velocità massima misurata come valore adimensionale **V*D_{max}** sono così definiti:

$$h*D = \frac{h}{D} \quad q*D = \frac{q}{\sqrt{g} * D^{1.5}} \quad v*D_{\max} = \frac{v}{\sqrt{g} * D}$$

L'altezza d'acqua adimensionale **h*k** e la portata unitaria adimensionale **q*k** vengono anche definiti come:

$$h*k = \frac{h}{k} \quad q*k = \frac{q}{\sqrt{g} * k^{1.5}}$$

Le formule di cui sopra, sono riferite a pendenze della rampa, fra 1 e 10% e con concentrazioni **C** dei blocchi di roccia fra 0.06 e 0.16 (da Istituto di Meccanica dei Fluidi di Toulouse).

DEFINIZIONE DI CONCENTRAZIONE

La concentrazione **C** delle rocce è definita a partire dalla larghezza della faccia all'incolonnamento medio dei blocchi di roccia **D** alle spaziature longitudinali ax e laterale ay da asse ad asse:

$$C = \frac{D^2}{ax * ay}$$

RELAZIONE FRA L'ALTEZZA D'ACQUA E LA PORTATA UNITARIA.

I test idraulici mostrano che il carico d'acqua a monte della massicciata di rocce - regolarmente ripartita - e l'altezza dell'acqua scorrente lungo la rampa, sono generalmente simili, salvo il caso di massi a faccia arrotondata a partire dal 6 - 7% di pendenza in cui l'altezza d'acqua è allora significativamente inferiore rispetto al carico di monte. Tuttavia nel quadro del dimensionamento ittico questo caso in realtà non si pone.

Nella relazione fra l'altezza d'acqua e la portata unitaria, si distinguono due casi a seconda che i massi sono emergenti ($h/k < 1.1$) o immersi ($h/k > 1.1$).

PORTATA SCORRENTE FRA I MASSI EMERGENTI ($H/K < 1.1$).

La portata unitaria q è determinata in funzione dell'altezza d'acqua h , dalla concentrazione dei blocchi in roccia C e dalla pendenza della scala I . La forma della faccia dei blocchi presenta una influenza non trascurabile, due relazioni sono state stabilite per dei blocchi a faccia piana e a faccia arrotondata. Visto che le rocce naturali hanno una forma intermedia, le due relazioni sono fornite sulla forma adimensionale (rapportata a D) e per una larghezza della faccia del flusso D uguale a 0.5 m.

Blocchi a faccia piana:

Formula adimensionale: $q^*D = 0.648 \times h_D^{1.084} \times I^{0.56} \times C^{-0.456}$

Per $D = 0.5$ m: $q = 1.521 \times h^{1.084} \times I^{0.56} \times C^{-0.456}$

Blocchi a faccia arrotondata:

Formula adimensionale: $q^*_D = 0.815 \times h_D^{1.45} \times I^{0.557} \times C^{-0.456}$

Per $D = 0.5$ m: $q = 2.466 \times h^{1.45} \times I^{0.557} \times C^{-0.456}$

PORTATA SCORRENTE FRA MASSI SOMMERSI ($H/K > 1.1$).

Quando il flusso supera in altezza la massicciata della rampa, la forma dei blocchi non ha più tanta influenza, una sola relazione pertanto è considerata stabile per verificare il comportamento della rampa soggetta a forti correnti. La formula è fornita in forma adimensionale (rapportata a k) e per un'altezza del blocco k di 0.6 m:

Formula adimensionale: $q^*_k = 0.955 \times h_k^{2.396} \times I^{0.466} \times C^{-0.230}$

Per $k = 0.6$ m: $q = 4.727 \times h^{2.396} \times I^{0.466} \times C^{-0.230}$

VELOCITÀ DI PORTATA.

Si può calcolare la velocità di portata nelle sezioni libere V_{deb} , e la velocità di portata a livello delle sezioni minimali degli agglomerati di roccia $V_{deb\ max}$.

$$V_{deb} = \frac{q}{h}$$

$$V_{deb\ max} \approx \frac{b+D}{b} \times V_{deb} \approx \frac{b+D}{b} \times \frac{q}{h}$$

RELAZIONE FRA L'ALTEZZA D'ACQUA E LA VELOCITÀ MASSIMA.

Con $h/k < 1.1$ (portata scorrente fra i massi emergenti) due relazioni sono state stabilite per una concentrazione C uguale a 0.13 e per dei blocchi a faccia piana e a faccia arrotondata, (considerando che le rocce naturali presentano normalmente una forma intermedia).

Massi con faccia piana

Formula adimensionale: $v_{Dmax}^* = 3.35 \times h^{0.27} \times I^{0.53}$

Per $D = 0.5\ m$ $v_{max} = 8.92 \times h^{0.27} \times I^{0.53}$

Faccia arrotondata

Formula adimensionale: $v_{Dmax}^* = 4.54 \times h^{0.32} \times I^{0.56}$

Per $D = 0.5\ m$ $v_{max} = 12.56 \times h^{0.32} \times I^{0.56}$

Le correzioni da applicare alla velocità massima - nel caso di concentrazioni differenti da 0.13 - sono dati sotto forma percentuale nella figura che segue. Per esempio, ad un tirante d'acqua su di una data pendenza, la velocità massima per $C = 0.008$ è superiore del 24% a quello per $C = 0.13$.

inserisci FIGURA

Correzione da applicare sulla velocità massima in funzione della concentrazione delle rocce.

CONFRONTO FRA LA VELOCITÀ MASSIMA E PORTATA.

Il confronto fra la velocità massima lungo l'incolonnamento dei massi e la velocità media di portata, è una prima indicazione sulla eterogenità delle velocità dell'acqua. Il rapporto V_{max} / V_{deb} è in funzione dell'altezza dell'acqua (la pendenza del manufatto non ha influenza). Il rapporto varia da 1.5 a 2.5 per le rocce a faccia piana e da 2 a 3 per le rocce a faccia arrotondata. A titolo di comparazione, il rapporto V_{max} / V_{deb} in un passaggio con bacini a fenditura verticale è correttamente nell'ordine di 7 - 12.

POTENZA DISSIPATA.

La potenza dissipata, si calcola iniziando dalla portata unitaria, dall'inclinazione della rampa e dall'altezza d'acqua:

$$P_v = \rho \times g \times \frac{q}{h} \times l = \rho \times g \times V_{deb} \times l$$

CONFRONTO FRA LA MASSICCIATA DI ROCCE A FACCIA PIANA E ARROTONDATE.

Le rampe costituite con rocce a faccia arrotondata, smaltiscono una portata superiore rispetto alle rocce con facce piane. Vale a dire che, data una certa pendenza, per ottenere una stessa altezza d'acqua, è necessaria una portata superiore nel caso di massi con facce arrotondate rispetto a massi che presentano facce piane. La velocità massima e la potenza dissipata sono elevate, questo perché il flusso risulta meno contratto contro un masso a faccia arrotondata rispetto ad uno con faccia piana. Nell'interesse di ridurre le velocità e la potenza dissipata per permettere l'attraversamento dei pesci, le rocce a faccia piana sono più appropriate.

AGGLOMERATI DI PIETRE IN FILA RICORRENTE.

h	altezza d'acqua nei bacini (m)
hs	carico sulle soglie (m) (hs = h - p)
Δh	pelo libero sulla soglia (m)
V_{max}	velocità massima (m/s)
p	altezza della soglia (m)
D	larghezza media dei massi incolonnati che delimitano i bacini (m)
k	altezza utile dei blocchi (m)
b	larghezza del passaggio libero fra i blocchi (m)
B	larghezza della rampa (m)
L	lunghezza longitudinale dei massi incolonnati che delimitano i bacini (m)
θ	porosità delle file del blocco
q	portata unitaria (m ³ /s/m)
Q	portata totale transitante nella rampa (m ³ /s)
μ	coefficiente di portata
K_N	coefficiente di allagamento

POROSITÀ θ DELLA DISPOSIZIONE DEL BLOCCO.

La porosità della disposizione dei blocchi è uguale al rapporto della somma delle larghezze delle file regolari dei massi, sulla larghezza totale della rampa.

$$\theta = \frac{\sum b}{B} \div \frac{b}{b + D}$$

Sul corpo dei massi disposti in fila regolare, la caduta d'acqua è essenzialmente concentrata a livello sulla sommità dei massi tale che:

$$\Delta h \sim l * L$$

La scelta della tipologia di passaggio naturalistico dipende soprattutto dalla possibilità di lavorare con escursioni di portata più o meno abbondanti del corso d'acqua. Generalmente la tipologia *fish ramp* lavora con portate più modeste che con una *bottom ramp*, dal momento che occupa soltanto una parziale larghezza del fiume. Per questo motivo è una tipologia operativa meno costosa dal punto di vista realizzativo, sviluppandosi soltanto per parte della larghezza d'alveo con dimensioni più contenute. La *bottom ramp* è invece una soluzione che va completamente ad integrarsi e sostituire l'intero sbarramento che viene inglobato nell'opera stessa.

LE RAPIDE ARTIFICIALI.

Ai fini idraulici, la presenza di una traversa determina una dissipazione di energia cinetica della corrente attraverso il risalto idraulico che si forma a valle dell'opera stessa in maniera proporzionale alla sua altezza. L'obiettivo di natura idraulica che si desidera raggiungere con le rampe in pietrame è lo stesso, ma i processi dissipativi vanno

correlati alla loro irregolarità e scabrosità. Tali strutture consentono sia i normali scambi trofici sia il ripopolamento naturale dei tratti d'acqua.

Nel caso delle traverse il processo dissipativo è facilmente correlabile al numero di Froude (ottimale se compreso tra 4,5 e 9), mentre nel caso delle rampe ciò si lega alla turbolenza dell'acqua e, perciò, esso si verifica in presenza di deflussi scarsi o con elevate scabrezze relative.

$$\frac{k}{y}$$

k = altezza della scabrezza;
y = altezza del livello d'acqua.

Il valore di Fr al piede della rampa è, infatti di $1 \div 1.5$ per cui a valle si forma un risalto idraulico, è evidente che il dimensionamento della rampa va eseguito in funzione della portata per la quale si verifica una dissipazione ottimale dell'energia cinetica posseduta dalla corrente. Ciò premesso, va posta attenzione alla considerazione che - lasciando come solo parametro progettuale quello dell'energia da dissipare - si potrebbero configurare dimensionamenti esagerati delle rampe stesse e ciò sarebbe in contrasto con l'obiettivo primario di eliminare gli ostacoli presenti nell'alveo del fiume; va peraltro evidenziato che il vantaggio idraulico costituito dalle rampe è, in realtà, quello di modificare la pendenza dell'alveo concentrando il dislivello in un'area ristretta, consentendo altresì un efficace consolidamento delle sponde situate a monte dell'opera. In questo modo, pur realizzando strutture di modesta altezza, si è in grado di mitigare in modo adeguato la forza erosiva della corrente, senza creare ostacoli insormontabili alla fauna ittica.

Le problematiche connesse alla risalita delle specie ittiche non si limitano solamente con la possibilità di costruire rampe in pietrame in luogo delle tradizionali traverse e briglie; spesso, ci si trova di fronte ad alvei già radicalmente regimati su cui è necessario intervenire. In questo caso si tratta di contemperare le tecnologie conosciute di ripristino fluviale, con le caratteristiche morfologiche del corso d'acqua in modo da ricreare l'originaria continuità morfologica con evidenti vantaggi dal punto di vista ecologico.

Tali modifiche possono anche rivelarsi convenienti dal punto di vista economico qualora si debba intervenire per ripristinare un'opera che presenti lesioni di una certa rilevanza. Si tratta infatti di trasformare, ove possibile, vecchie traverse e briglie in rampe, andandosi a raccordare gradualmente con la scala di rimonta ittica con il profilo della gaveta, badando, ovviamente, a mantenere un opportuno franco laterale di sicurezza, rispetto al conseguente innalzamento del pelo libero. Si può pure collocare la rampa lateralmente alla briglia, in particolare in alvei caratterizzati da periodi prolungati di scarso deflusso.

Altra interessante soluzione è quella di creare, nelle zone limitrofe l'alveo, veri e propri ruscelli in pietrame (cunette) capaci di aggirare l'ostacolo rappresentato dall'opera trasversale.

In tal caso è necessario occupare una superficie di terreno maggiore, ma si verrebbe così a creare un tratto di fiume ex novo o a ripristinarne uno abbandonato, ottenendo una positiva diversificazione ambientale e paesaggistica.

Tab. 4. Esempi di dimensionamento di una scala ittica costituita da massi in file regolari con soglie di altezza di 0.40 m. La pendenza della scala e lo spazio longitudinale fra le file dei massi, dipendono dall'altezza massima ammissibile del salto d'acqua. Il carico d'acqua sulla soglia e la porosità θ del selciato del manufatto, determinano la portata transitante e la forza dissipata, di conseguenza lo spazio di funzionamento della rampa.

L'ottimizzazione del dimensionamento, si fa per iterazione giocando sulla geometria del manufatto.

Specie ittiche	pendenza rampa	spazio longitudinale (m)	porosità	salto (m)	velocità massima (m/s)	portata unitaria min. e max	carico min. e max sulla soglia (m)	forza dissipata min. e max (W/m^3)
Salmonidi	9%	2.5	0.4	0.23	2.1	0.10 – 0.36	0.30 – 0.70	130 – 300
	7%	3.0	0.5	0.21	2.0	0.13 – 0.50	0.30 – 0.75	125 - 300
Trote fario	8% (max)	2.0	0.4	0.16	1.8	0.06 – 0.45	0.20 – 0.80	70 – 290
	6%	3.0	0.5	0.18	1.9	0.07 – 0.55	0.20 – 0.80	70 - 270
Ciprinidi	7% (max)	2.5	0.4	0.18	1.9	0.06 – 0.29	0.20 – 0.60	60 – 200
	5%	3.5	0.5	0.18	1.9	0.07 – 0.45	0.20 – 0.70	60 – 200
piccole specie	6% (max)	2.5	0.4	0.15	1.7	0.06 – 0.25	0.20 – 0.55	55 - 150
	4%	3.5	0.5	0.14	1.7	0.07 – 0.40	0.20 – 0.65	45 – 150
tutte le specie	5% (max)	3.0	0.4	0.15	1.7	0.16 – 0.32	0.40 – 0.65	95 - 150
	4%	3.5	0.5	0.14	1.7	0.20 – 0.40	0.40 – 0.65	95 – 150

Tipologia a bacini successivi

I passaggi a bacini successivi consentono di distribuire il dislivello da superare in un congruo numero di salti costituiti da una serie di bacini. Il passaggio dell'acqua da un bacino all'altro può effettuarsi:

Per passaggio attraverso una fessura verticali ubicata nel setto che separa due bacini adiacenti, unitamente ad un orifizio di fondo (luce sottobattente).

Per stramazzo da una fenditura orizzontale (luce a stramazzo).

I principali parametri per il dimensionamento di un passaggio a bacini successivi sono le dimensioni dei bacini e la forma del setto divisore. Sono queste caratteristiche geometriche che - in funzione delle quote idriche a monte e a valle dell'apertura e della portata transitante - determinano il comportamento idraulico del passaggio e la differenza del livello tra due bacini adiacenti.

DEFINIZIONE DEL DISLIVELLO TRA DUE BACINI CONTIGUI.

Il dislivello tra due bacini è in relazione alla *specie target* individuata. Il passaggio dei pesci sul salto fra i bacini, sarà tanto più facilitato quanto minore risulterà il dislivello ΔH tra due bacini contigui. In via approssimativa, la massima velocità determinata dallo scalino ΔH è ricavabile dalla relazione:

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

in cui **g** rappresenta l'accelerazione di gravità (9,81 m/s²).

La scelta del tipo di passaggio tra due bacini è in funzione della capacità natatoria e di salto delle *specie target* che dovranno risalire il corpo idrico. Il collegamento può avvenire:

- Attraverso una *fessura verticale* (salto);
- attraverso lo *scorrimento superficiale* (stramazzo rigurgitato);
- attraverso l'*orifizio di fondo* (luce sottobattente).

I passaggi a *salto* sono riservati esclusivamente ai Salmonidi, per le trote, il dislivello massimo superabile da esemplari di grossa taglia è di circa 45 cm. Si consiglia di mantenere un salto non superiore a 30 cm al fine di garantire la risalita anche di esemplari di media taglia. I passaggi a *scorrimento superficiale* consentono la risalita anche di specie ittiche che non sono in grado di compiere salti di una certa altezza. Per la maggior parte di tale specie, si consigliano dislivelli dell'ordine di 20-25 cm che possono essere diminuiti nel caso si preveda la risalita di esemplari con taglie particolarmente ridotte.

E' comunque opportuno ricordare che anche i pesci dotati di buone capacità di salto sono più facilitati a superare un ostacolo senza dover necessariamente saltarlo.

È preferibile un passaggio per pesci che consenta il superamento del dislivello con la presenza sia di fessure laterali sia di *orifizi di fondo* (questi ultimi permettono la risalita ai pesci che non saltano¹⁹).

PARAMETRI DIMENSIONALI VINCOLANTI PER UNA CORRETTA DISSIPAZIONE DELLA POTENZA.

Una volta selezionati i dislivelli tra i bacini ΔH ed il tipo di setti, occorre definire le dimensioni dei bacini e delle aperture che li collegano. Le misure da adottarsi dipendono, oltre che dalla disponibilità idrica, dalle specie ittiche presenti e dalle dimensioni degli stessi; inoltre esistono dei parametri di controllo che devono essere rispettati per rendere efficiente il passaggio. Fermo restando una corretta verifica idraulica, si riportano i principali vincoli da rispettare:

- ⇒ la larghezza delle fessure deve consentire il transito anche di pesci di taglia maggiore;
- ⇒ per pesci di grossa taglia, si consigliano fessure laterali di larghezza di 0,3 - 0,4 metri;
- ⇒ per pesci di grandi dimensioni, la superficie per gli orifizi di fondo, deve essere di circa 0,1 m²;
- ⇒ rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza bacino (B), compreso tra 1,6 e 1,8;
- ⇒ rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza fessura (b), compreso tra 7 e 12;
- ⇒ rapporto larghezza bacino (L)/larghezza fessura (b), compreso tra 4 e 6;
- ⇒ rapporto battente sullo stramazzo laterale (H)/dislivello tra bacini (ΔH) superiore a 2 nel caso di funzionamento del collegamento tra bacini attraverso flusso rigurgitato.

Parametri	Descrizione
B	larghezza interna del bacino
b	larghezza fenditura laterale
P	quota di fondo fenditura laterale
l'	larghezza orifizio di fondo
h'	altezza orifizio di fondo
h	altezza setto
S	spessore setto
L	distanza fra i setti
ΔH	differenza di livello fra due bacini successivi
H1	distanza fra pelo libero e orifizio di fondo

Il rispetto dei vincoli sopra elencati permette di definire le dimensioni ottimali dei bacini. A questo punto, noti tutti i parametri di progetto, applicando le formule dell'idraulica si determina la portata transitante attraverso le aperture degli orifizi di fondo e delle fenditure laterali.

¹⁹ Per esempio per lo scazzone o vairone

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

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

dove: C_d = coefficiente di contrazione in funzione della forma e del profilo della luce sommersa e S = sezione dell'orifizio in m^2 ;

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

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

dove: C_d = coefficiente di contrazione laterale;
 b = larghezza della fessura (m);
 H_1 = è il carico sulla fessura (m).

Uno degli obiettivi principali in fase di progettazione è di assicurare che avvenga la totale dispersione dell'energia all'interno di ciascun bacino e che non avvengano fenomeni di trasporto d'energia da un bacino all'altro in quanto la difficoltà di risalita dei pesci aumenta con l'aumentare della turbolenza e dell'aerazione dei bacini. L'ultima verifica da effettuare nel processo di dimensionamento è il calcolo della potenza specifica dissipata per unità di volume:

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

dove:

P_v = potenza dissipata per unità di volume (W/m^3);
 ρ = densità dell'acqua ($1000 \text{ Kg}/m^3$);
 Q = portata d'acqua (m^3/s);
 V_a = volume d'acqua nel bacino (m^3).

Per i Salmonidi si consiglia di non superare i $200 \text{ W}/m^3$, mentre il limite scende a $150 \text{ W}/m^3$ per i Ciprinidi.

UN ESEMPIO.

Parametri di dimensionamento del passaggio per pesci nel Torrente Gesso.

- ⇒ Il passaggio sarà composto da 13 bacini: tale risultato si ottiene dividendo il salto complessivo di progetto (3,50 m) per il dislivello imposto tra due bacini (25 cm). In questo modo i salti risultano 14;
- ⇒ i singoli bacini ed i setti separatori sono stati dimensionati in modo che siano rispettati i rapporti dimensionali precedentemente indicati e che la potenza specifica dissipata si

mantenga mediamente inferiore a 150 W/m^3 , con questi vincoli i bacini sono stati progettati con lunghezza di 2,15 m;

- ⇒ la lunghezza complessiva del passaggio (considerando anche lo spessore dei setti) risulta pari a 31,45 metri;
- ⇒ la pendenza media del passaggio è pari all'11,10 %;
- ⇒ i bacini saranno larghi 1,34 metri e saranno divisi tra loro da setti alti 2,35 metri;
- ⇒ su ogni setto è presente una fessura laterale larga 0,3 metri e profonda 1,35 metri. Ogni setto sarà anche dotato di foro di fondo di dimensioni 0,20 x 0,20 metri;
- ⇒ con queste caratteristiche dimensionali, la potenza dissipata all'interno dei bacini è sempre inferiore a 150 W/m^3

In condizioni di progetto, la portata transitante nel passaggio artificiale sarà pari a circa 305 l/s. In tabella seguente sono riassunti i principali parametri di progetto, le dimensioni del passaggio e le verifiche di corretto dimensionamento; a seguire è invece rappresentato graficamente il profilo idraulico in condizioni di progetto.

PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO

Parametro	Valore	Motivazioni
Dislivello massimo tra due bacini	25 cm	L'abbondanza nel fiume di pesci aventi capacità natatorie contenute, impone l'assunzione di dislivelli tra due bacini contigui ridotti.
Livello idrico di monte	681,35 m s.l.m.	Condizioni al contorno dettate dai livelli idrici di monte e di valle
Livello idrico di valle	677,85 m s.l.m.	
Tipologia di comunicazione fra i bacini	fessura laterale + orifizio di fondo per tutti i bacini escluso il primo di monte Stramazzo Bazin per il primo bacino di monte + orifizio di fondo	L'abbondanza nel fiume di pesci che si spostano senza effettuare salti richiede la presenza dell'orifizio di fondo
Larghezza fessura laterale	0,30 m	Valori indicati nella letteratura di settore
Dimensioni foro di fondo	0,20 m x 0,20 m	
Lunghezza dei bacini	2,15 m	Valori indicati nella letteratura di settore
Larghezza dei bacini	1,34 m	

DIMENSIONI DEL PASSAGGIO

Parametro	Valore	
Portata defluente di progetto corrispondente ad un livello idrico di monte di 681,00 m s.l.m.	305 l/s	
Numero di bacini	13	
Lunghezza complessiva del passaggio	circa 31,45 m	
Pendenza media	11,1 %	
Parametri di dimensionamento		
Parametro	Valore	Range di valori consigliati
Potenza specifica dissipata in condizioni di progetto (W/m^3)	inferiore a 150	minore di 150 per ciprinidi; minore di 200 per salmonidi
Rapporto lunghezza/larghezza dei bacini	1,6	compreso tra 1.6 e 1.8
Rapporto lunghezza bacino/larghezza fessura laterale	7,17	compreso tra 7e 12
Rapporto larghezza bacino/larghezza fessura laterale	4,47	compreso tra 4 e 6
Rapporto battente sullo stramazzo/dislivello tra bacini	3,17	maggiore di 2

Tipologia passaggio di tipo Denil

È un tipo di scala-canale in cui si utilizzano quinte o deflettori posizionati obliquamente lungo il manufatto, la funzione di quinte e deflettori è di dissipare meglio l'energia cinetica dell'acqua. Le quinte sono molto ravvicinate tra loro, ed inclinate rispetto all'asse della scala-canale, tali da formare canali secondari, lasciando nello stesso tempo uno spazio relativamente ampio per un canale di scorrimento principale in cui far passare il pesce.

Il flusso di rientro dai canali secondari, s'incrocia bruscamente con il flusso principale e l'energia viene assorbita lungo l'asse centrale della scala-canale per l'abbondante ed intenso rimescolamento dell'acqua (l'assorbimento dell'energia non è dovuto all'attrito contro le quinte).

Le superfici dei canali secondari devono essere lisce e gli ingressi ben allineati rispetto al flusso centrale così da ridurre le perdite dovute all'attrito, assicurandosi che le correnti secondarie, rimbalzanti verso il centro, siano vigorose e senza impedimenti nell'opera di contenimento della velocità del deflusso centrale. La forma, la posizione e la distanza delle quinte giocano un ruolo importante.

Il limite inferiore dell'apertura del canale centrale è stabilito dallo spazio natatorio occorrente ad un pesce per salire.

Basilare per un progetto di passaggio Denil, è la conoscenza del rapporto tra flusso e profondità dell'acqua: un rapporto lineare approssimativo tra flusso e profondità dell'acqua, è stabilito in una gamma di profondità compresa tra 0.35 m e 0.65 m, con una velocità media della portata, variante tra 1.32 m/s e 1.42 m/s. Il gradiente di pendenza normalmente è compreso tra 1:4 e 1:5. Le quinte sono normalmente posizionate con una inclinazione di 45° e la distanza tra una e l'altra si aggira intorno al 67% della larghezza del canale.

Il materiale con cui sono realizzate le quinte è generalmente acciaio inossidabile o lamiera zincata e sono fissate al canale tramite una cornice-guida scanalata che permette la rimozione delle stesse per scorrimento. Questo sistema permette, tra l'altro, una più efficace ed economica pulizia dei passaggi.

Preme ricordare che il passaggio di tipo Denil è consigliato soprattutto in quelle situazioni in cui la portata è assolutamente costante nel tempo e le variazioni di livello dell'acqua sono nell'ordine di pochi centimetri all'anno. Infatti, se da una parte questo tipo di passaggio permette di superare dislivelli elevati con un'opera di relativa semplicità a dai costi contenuti, dall'altra, l'utilizzo tout-court di questa struttura rischia di diffondere sul territorio passaggi dei tutto inefficienti o mal funzionanti, soprattutto in quei corpi idrici che hanno grandi variabilità di portata, quali quelli a regime torrentizio o soggetti a grandi captazioni a monte. Infatti accade spesso che posizionando un passaggio Denil in questi corsi d'acqua, per la maggior parte del tempo sia l'uno che l'altro si trovino in asciutta o, ancora peggio, con un livello d'acqua insufficiente al transito del pesce all'interno della scala.

Si consiglia l'installazione sui grandi canali irrigui, sui corpi idrici che collegano più invasi.

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E DIMENSIONAMENTO.

La forma, la posizione e la distanza delle quinte giocano un ruolo molto importante. Un passaggio che sia economico, con un ingresso facilmente localizzabile, e che occupi il minimo spazio, deve avere un gradiente di pendenza che sia il più ripido possibile (la velocità dell'acqua in una scala Denil aumenta approssimativamente secondo la radice quadrata del gradiente di pendenza: più la scala è ripida, più aumenta il deflusso dell'acqua). Inversamente, una riduzione della sezione trasversale con gradiente invariato della scala determinerà un deflusso minore a basse velocità.

Il limite dello spazio di passaggio attraverso una scala a rallentamento è stabilito dallo spazio natatorio occorrente ad un pesce a superare un certo dislivello. Il pesce oltrepassa una scala di questo tipo d'un sol tratto e non può riposarsi tra due rallentatori, per cui di fronte ad un dislivello importante, è opportuno prevedere bacini di riposo (generalmente ogni due metri lungo la ricaduta).

Il progetto di una scala Denil implica la conoscenza del rapporto tra flusso e profondità dell'acqua. In questo processo le forze significative sono quelle dell'inerzia e della gravità, la prima forza è definita da:

$$F_d = 0.5K * \rho * U^2 * A$$

dove:

K = coefficiente numerico sperimentale pari a 0.25;

ρ = densità dei pesci (kg/m^3 solitamente posta uguale a 1000 kg/m^3);

U = velocità dell'acqua (m/s);

A = $0.02182 L_p^2$ dove L_p = lunghezza dei pesci (m).

La forza di gravità applicata su un pesce in un piano inclinato rispetto all'orizzontale è data da:

$$F_g = M * g * \text{sen} \alpha$$

M = massa dei pesci (kg) ad esempio per i Salmonidi $10.836 L_p^{2.964}$;

g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2);

α = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale (gradi).

Entrambe le forze - componenti della risultante - sono espresse in Newton (N):

$$F = F_d + F_g$$

che permette di ricavare le velocità affrontabili dalle varie specie ittiche.

Il dimensionamento di un passaggio per pesci di tipo Denil, richiede la conoscenza delle relazioni tra portate e profondità dell'acqua.

Utilizzando la legge di scala di Fronde, si segnalano le seguenti relazioni per il calcolo dei rapporti di scala:

$$\lambda^{0.5} = \frac{U_f}{U_m}$$

$$\lambda^{2.5} = \frac{Q_f}{Q_m}$$

dove:

U_f = velocità dell'acqua nella situazione reale (m/s);

U_m = velocità dell'acqua nella situazione simulata tramite un modello a scala ridotta riprodotte le reali condizioni del sito (m/s);

Q_f = portata dell'acqua nella situazione reale (m^3/s);

Q_m = portata dell'acqua nella situazione simulata tramite un modello a scala ridotta riprodotte le reali condizioni del sito (m^3/s).

Essendo a sua volta il rapporto di scala:

$$\lambda = \frac{L_f}{L_m}$$

dove:

L_f = dimensione reale (m)

L_m = dimensione della riproduzione (m).

Considerando che la velocità dell'acqua in una scala a rallentamento aumenta in proporzione della radice quadrata del gradiente otteniamo:

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_m} = \frac{U_f}{U_m}$$

Le caratteristiche geometriche dei rallentatori sono fornite in modo adimensionale in quanto le dimensioni sono da riportare ad una lunghezza di riferimento (la larghezza del canale o l'altezza dei rallentatori).

Le specifiche che seguono sono imperative in quanto, ogni tipo di rallentatore, è stato sperimentato in modello ridotto in ambito internazionale, per cui ogni alterazione proporzionale può comportare un'alterazione significativa della struttura pregiudicando l'efficacia della scala.

SCALE A RALLENTATORI PIANI.

Sono costituite da quinte fatte di un solo ripiano, si sono dimostrate efficaci nella caratterizzazione geometrica, soprattutto per la risalita dei Salmonidi.

Le larghezze delle quinte possono variare tra i 0.6 ÷ 0.9 metri e raggiungere al massimo la larghezza limite di 1.2 metri, per pesci di grosse dimensioni.

Per quanto riguarda le pendenze, si riportano i valori da utilizzare in rapporto al range di larghezze così definito:

L = 0.80 m →	i = 20%
L = 0.90 m →	i = 17.50%
L = 1.00 m →	i = 16%
L = 1.20 m →	i = 13%

Tuttavia per l'utilizzo in caso di risalita delle trote, non necessariamente di grosse dimensioni, è consigliabile utilizzare range minori di 0.6-0.9 metri per quanto riguarda la larghezza dei setti. Per le pendenze, si riportano le seguenti specifiche:

$L = 0.60\text{m} \rightarrow i = 20\%$

$L = 0.70\text{m} \rightarrow i = 17.50\%$

$L = 0.80\text{m} \rightarrow i = 16\%$

$L = 0.90\text{m} \rightarrow i = 13\%$

I valori minimi dell'altezza d'acqua (h_a) che consentono il nuoto dei pesci nel passaggio e l'innescò della scala, sono dell'ordine dello 0.5 - 0.6 L.

SCALE A RALLENTAMENTO DEL TIPO FATOU

La tipologia costruttiva delle quinte cambia, tuttavia le condizioni di utilizzo rimangono invariate rispetto alla tipologia a rallentatori piani. Le complessità realizzative sono maggiori e di conseguenza anche i costi aumentano; dallo schema già citato, si intuisce bene come, in questo tipo di realizzazioni, l'attrito dei getti di controspinta venga provocato dai pannelli dissipatori.

La particolare conformazione dei setti richiede un'attenta manutenzione: la deposizione di detriti, la variazione delle portate, la velocità dell'acqua che si mantiene relativamente alta, influenzano molto il corretto funzionamento della struttura.

SCALE CON RALLENTATORI SOMMERSI

Questa tipologia è particolarmente utilizzata nel caso in cui si sovrappongano interessi legati ad una plurima fruibilità dell'opera: le modifiche legate soprattutto alle quinte - oltre alla risalita e ridiscesa delle specie ittiche - permette il passaggio anche da parte di canoe e kayak. Le differenze sono solitamente legate al tipo di materiale (acciaio per i passaggi per pesci, preferibilmente legno per i passaggi misti) e alla disposizione dei setti.

Per quanto riguarda le pendenze della scala, si riportano i valori da utilizzare in rapporto al range di larghezze:

$L = 0.20\text{ m} \rightarrow i = 11\%$

$L = 0.15\text{ m} \rightarrow i = 15\%$

Per l'utilizzo in caso di risalita delle trote (non necessariamente di grosse dimensioni), è consigliabile un ridimensionamento utilizzando 0.10 - 0.15 metri per quanto riguarda la larghezza massima dei setti. Per le pendenze, i valori sono:

$L = 0.15\text{ m} \rightarrow i = 10\%$

$L = 0.10\text{ m} \rightarrow i = 15\%$

SCALA DENIL A RALLENTATORI PIANI

Si tratta di una tipologia di derivazione dei passaggi Denil messa a punto nei laboratori di idraulica francesi con la sostanziale differenza che i rallentatori a deflettore sono soltanto posti sul fondo, invece che sui lati come nel progetto originario di Denil. Questa conformazione li rende meno prestanti dal punto di vista idraulico poiché lavorano al massimo su pendenze del 5-16% (i classici Denil possono arrivare al 25%), però hanno molti meno problemi di costruzione e manutenzione, poiché i materiali fluitati tendono a rotolare sul fondo ed hanno meno possibilità di incastrarsi sulle pareti. La concezione progettuale prevede la realizzazione di un canale in cls ed il posizionamento di appositi rallentatori sul fondo realizzati in metallo, legno o materie plastiche e dimensionati in modo che - per portate e tiranti assegnati - si sviluppino velocità dell'acqua sostenibili dal pesce in risalita.

Questa particolare tipologia di scala, è adatta sia ai Salmonidi sia ai Ciprinidi, purché le velocità dell'acqua e la lunghezza delle tratte da superare siano dimensionate adeguatamente. Il pesce, imboccata l'entrata, tende a risalire in velocità sostenuta dal momento che non vi sono spazi per la stabulazione (come avviene invece nei passaggi a bacini successivi). Per lunghe tratte, generalmente ogni due metri di dislivello superato, viene realizzata una vasca di riposo.

Il sistema di rallentatori sarà posto sul fondo delle rampe, costituito da una tripla serie di deflettori ciascuna larga 60 cm. I deflettori, metallici in acciaio, avranno spessore tra 8 e 10 mm, altezza di 10 cm e saranno distanziati di 26 cm l'un l'altro: per ogni rampa di lunghezza 10, saranno poste quindi 39 serie di deflettori.

La soglia di presa sarà protetta da una griglia paratronchi che protegge tutto il sistema di presa; dovranno essere predisposti dei gargami all'imbocco utili all'inserimento di una paratoia che permette la chiusura del passaggio artificiale per le operazioni di manutenzione da eseguirsi sempre all'asciutto ed in sicurezza.

ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI.

La progettazione e l'installazione di una scala a rallentamento sono più complesse di quelle di una scala a bacini successivi.

Le superfici dei canali secondari devono essere lisce e gli ingressi ben allineati rispetto al flusso centrale tale da ridurre le perdite dovute all'attrito ed assicurarsi che le correnti secondarie, rimbalzanti verso il centro, siano vigorose e senza impedimenti nell'opera di contenimento della velocità del deflusso centrale. Per questo motivo si sottolinea che tutti i rallentatori devono essere allineati tra di loro. Ogni deviazione della linea retta può farsi solamente all'altezza di un bacino di riposo avente una lunghezza sufficiente per assorbire il getto d'acqua del flusso, prima che urti violentemente contro le pareti di fronte (ciò è particolarmente richiesto specialmente nel caso di cambiamenti di direzione di 180°).

In una scala ittica, il flusso è determinato prima di tutto dalla posizione del primo rallentatore rispetto al livello dell'acqua a monte e, in misura minima, dalle condizioni d'invaso (se vi siano o meno arrotondamenti sui muri di sponda, e sui rivestimenti a monte). In generale bisogna evitare a monte del primo rallentatore, qualsiasi restringimento che crei forte velocità o getti in pressione.

La parete di rivestimento a valle deve essere sufficientemente immersa rispetto al livello dell'acqua, di modo che sia evitata un'accelerazione locale nel flusso che risulterebbe pregiudizievole alla risalita del pesce.

Miglioramenti dell'alveo

Conservare la naturalità di alveo e sponde dei corsi d'acqua e l'integrità della loro fascia vegetazionale riparia è una priorità anche nell'ottica della protezione della popolazione ittica. La complessità e la diversità delle comunità ittiche e la loro abbondanza sia in termini di densità sia di biomassa risultano strettamente legate alla diversità e naturalità dell'ambiente fluviale, determinato - non solo dalle sue caratteristiche morfologiche, fisiche, chimiche, biologiche, profondità, temperatura, concentrazione di ossigeno disciolto, qualità e quantità di alimento disponibile - ma anche dalla presenza di alcuni elementi morfologici caratterizzanti la naturalità del corso d'acqua: sinuosità del tracciato, sequenza buche-raschi, barre di meandro, rive dolcemente degradanti, ostacoli locali alla corrente (grossi massi, rami incastrati sul fondo), vegetazione e ceppaie sommerse.

La fascia di vegetazione ripariale rappresenta una zona di straordinario interesse naturalistico e di vitale importanza per la fauna ittica. La vegetazione di medio ed alto fusto, fornisce ombreggiamento, garantendo un mantenimento di temperature costanti, cibo rappresentato dagli insetti aerei che gravitano sul fogliame sospeso a pelo d'acqua, materiale organico decomposto che è alla base della catena alimentare acquatica. Le radici e le ceppaie sulle sponde offrono inoltre un'ottima stabilità alla sponda stessa e la buca che spesso il corso d'acqua scava in corrispondenza delle ceppaie ripariali è un rifugio eccellente per tutti i pesci.

Le tecniche di intervento a cui è opportuno riferirsi sono quelle dell'ingegneria naturalistica, in particolare quelle tecniche che riguardano il mantenimento della naturalità delle sponde e la diversità morfologica dell'alveo.

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

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

MASSI IN ALVEO.

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

Questa tipologia d'intervento, è particolarmente adatta in corsi d'acqua artificializzati con una scarsa alternanza di buche e raschi, prestandosi comunque ad essere adottata anche in corsi d'acqua naturali con le medesime criticità. Con la posa di massi in alveo, si raggiungono diversi obiettivi: si creano meandri e ricoveri per pesci, aumenta il rapporto buche/raschi, le sponde sono protette dall'erosione, è mitigata l'uniformità di alvei piatti. A valle dei massi, il substrato viene rimosso dalla corrente e si forma una buca che, protetta dal masso stesso, costituirà un prezioso riparo per i pesci dalla corrente.

La disposizione di massi in alveo crea una diversificazione dell'habitat fluviale: la presenza di buche a valle dei massi comporta anche zone in cui la velocità della corrente è ridotta e i pesci possono sostare e trovare rifugio; l'utilizzo di massi di dimensioni diverse determina la formazione di rifugi adatti a esemplari di taglia variabile e contribuisce così a produrre popolazioni ittiche più strutturate. La deviazione del flusso della corrente può inoltre favorire la pulizia di alcune parti dell'alveo, che verranno colonizzate da invertebrati e utilizzate dai pesci per la deposizione delle uova. La presenza dei massi ha anche un effetto significativo sui processi di erosione delle sponde; a seconda di come vengono disposti nell'alveo, la loro presenza può infatti difendere sia le sponde soggette ad erosione, sia amplificare i fenomeni di erosione già in atto. Nel caso in cui non siano disponibili massi in loco o il loro trasporto risulti particolarmente costoso o complicato, è possibile utilizzare dei gabbioni metallici per ottenere dei risultati analoghi.

IN MERITO ALLE MODALITÀ REALIZZATIVE, VALGONO LE SEGUENTI INDICAZIONI:

La dimensione dei massi (o dei gabbioni) deve essere valutata accuratamente affinché questi possano resistere alle piene. In generale si raccomanda di usare massi di diametro compreso tra 0,8 e 1 m³, aventi preferibilmente una forma irregolare e costituiti da roccia dura non fessurata. Per ottenere una maggiore stabilità dei massi è possibile incassarli nel fondo dell'alveo, ancorandoli eventualmente a pali metallici.

Si raccomanda di valutare attentamente la collocazione dei massi nel corso d'acqua, tenendo presente i possibili fenomeni di erosione delle rive indotti nel caso in cui i massi siano posti vicino alle sponde e, più in generale, considerare gli effetti che possono manifestarsi con le correnti generate dalla loro presenza.

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

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

Proposta di una Commissione Tecnica di Valutazione Criteri per la valutazione di progetti.

La D.G.R. n° 75-2074 del 17 maggio 2011 “*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*”, prevede - seppur in forma assai generica - che le Province verificano, una volta realizzate, la funzionalità delle scale per pesci. Già in fase progettuale, in assenza di specifiche commissioni di valutazione e controllo, la mancata validazione delle opere potrebbe essere causa di erronee realizzazioni o inadempienze progettuali.

Ad oggi, in seguito alla pressante richiesta di numerose concessioni di derivazione idrica, di rinnovo delle vecchie derivazioni e manutenzione straordinaria delle opere in alveo, si ritiene essenziale che le amministrazioni competenti in materia di gestione dei corsi d’acqua, si dotino di strumenti di valutazione dei progetti di passaggi per pesci.

Qui di seguito si propone la creazione di un servizio operativo che avrebbe lo scopo di verificare la validità di progetti di scale di rimonta ittica.

Il servizio di esame dei progetti, indicato come COMMISSIONE TECNICA DI VALUTAZIONE (d’ora in poi CTV), può essere articolato secondo differenti livelli di gerarchia: Autorità di Bacino, Regione e Provincia.

Le principali attività della CTV sono così sintetizzate:

- ⇒ Pianificare le priorità di intervento di passaggi per pesci lungo i corsi d’acqua.
- ⇒ Valutare i progetti di passaggi per pesci.

Linee di indirizzo:

LA CTV: COMPOSIZIONE E COMPITI

L’istituzione di una commissione tecnica in grado di valutare la validità di un progetto di passaggio per pesci deve essere composta da un gruppo di lavoro multidisciplinare con provata capacità nelle materie dell’idraulica fluviale, dell’ittologia e dell’ecologia applicata.

La CTV deve essere composta dalle seguenti professionalità:

- 1 responsabile coordinatore con requisiti comprovati di competenza nel campo della pianificazione, studio e progettazione di passaggi per pesci avente conoscenze sia nel settore dell’idraulica che dell’ittologia;
- 1 tecnico esperto di idrologia, idraulica fluviale e costruzioni idrauliche;
- 1 tecnico esperto in gestione dell’ittiofauna ed ecologia applicata.

La CTV, analizzando i progetti sottoposti, deve esprimere un giudizio stabilendo:

- L'approvazione del progetto del passaggio per pesci;
- l'approvazione del progetto ma con revisioni e prescrizioni;
- respingere il progetto per inadeguatezza.

La CTV produce due documenti (protocolli) sulle procedure standardizzate per la corretta valutazione dei progetti:

- ⇒ PROTOCOLLO PER LA PRESENTAZIONE PROGETTI (PROT.-PP)
- ⇒ PROTOCOLLO PER LA VALUTAZIONE DEI PROGETTI (PROT.-VP).

I due documenti devono fornire le seguenti informazioni:

- ⇒ *Protocollo per la presentazione dei progetti di passaggi pesci (Prot. - PP)*
Modalità e conformità con cui un progetto di passaggio per pesci deve essere presentato agli uffici delle competenti amministrazioni (Autorità di Bacino, Regione, Provincia, Ente Parco);
- ⇒ *protocollo per la valutazione dei progetti (Prot.-VP)*
Tale documento deve contenere le regole tecniche e le condizioni per la valutazione dei progetti tali da garantire trasparenza ed oggettività al giudizio di valutazione del progetto. In secondo luogo la CTV dovrebbe aver anche i compiti ausiliari per stabilire:
- ⇒ Le modalità di monitoraggio di passaggi per pesci già operativi;
- ⇒ analizzare le priorità di intervento sul reticolo idrografico di propria competenza per individuare zone ad elevata criticità ambientale, in modo da poter dirigere su di esse possibili interventi di riqualificazione fluviale;
- ⇒ formare personale specializzato.

IL PROTOCOLLO PER LA PRESENTAZIONE DEI PROGETTI (PROT. - PP).

Il protocollo per la presentazione di un passaggio per pesci costituisce un documento da fornire ai progettisti affinché si attengano ad un corretto e completo approccio metodologico.

Deve essere indicato, nell'intestazione del protocollo, il responsabile del progetto, ovvero il progettista che firmerà la pratica e che risponderà sia delle fasi progettuali, sia della fase realizzativa dell'opera e del suo funzionamento. In secondo luogo dovrà essere individuato lo scopo ed il risultato atteso del progetto, ciò servirà a tutelare lo stesso richiedente, in particolare nel momento in cui viene imposta la realizzazione di un passaggio artificiale ove la popolazione ittica ha scarse capacità riproduttive, a causa delle quali l'impianto potrebbe risultare scarsamente efficiente. In sostanza deve essere indicato per quali *specie target* è finalizzato l'impianto, in quale periodo dell'anno

dovrà funzionare in maniera ottimale e quali siano i risultati attesi. Nell'intestazione del protocollo infine, deve essere precisato il riferimento normativo nel quale si colloca il progetto. Inoltre, deve essere specificato il numero ed il formato dei documenti da fornire, sia in cartaceo che digitale (.doc, .pdf, .dwg per le tavole, shapefile, ecc.).

Il protocollo è articolato in tre moduli costituenti in sostanza i documenti necessari alle fasi consequenziali di progettazione; ogni modulo infatti richiede la compilazione di un certo numero di voci:

- ⇒ • MODULO 1: *Inquadramento ambientale*, (M1-IA)
- ⇒ • MODULO 2: *Studio di progetto*, (M2-SP)
- ⇒ • MODULO 3: *Esecuzione di progetto*, (M3-EP)

Schema organizzativo del Prot.-PP ripartito in moduli e voci

Intestazione	Nominativo richiedente	Responsabile del Progetto	
		Finalità e risultati attesi	
		Riferimento normativo	
Moduli	modulo M1-IA	modulo M2-SP	modulo M3-EP
Voci	1. diagnostica dei luoghi	1. scelta tipologica di impianto	1. modalità esecutive
	2. indagine ittiologica	2. progettazione definitiva	3. pian di manutenzione
	3. indagine idrologico-idraulica	3. relazione tecnica	4. piano di collaudo
	4. indagine sedimentologica		
	5. indagine ambientale		
	6. valutazione ipotesi progettuali		

MODULO 1: *Inquadramento ambientale*, (M1-IA)

La prima fase, contenuta nel documento definito di *Inquadramento Ambientale* e siglato con M1-IA contiene lo studio del sito in cui si collocherà l'opera. In questa fase devono essere prodotte le seguenti sei voci:

1. *Descrizione dettagliata della localizzazione dello sbarramento di derivazione*: caratteristiche e modalità di funzionamento, dettagliato rilievo topografico dell'area e di eventuali manufatti esistenti. La scala dovrà essere adeguata per la realizzazione di un progetto definitivo, pertanto saranno necessari piani quotati, planimetrie e sezioni in scale di dettaglio della traversa e di tutte le altre opere previste.
2. *Indagine sul popolamento ittico* per mezzo di dati bibliografici se recenti e rappresentativi, oppure tramite campionamenti specifici realizzati appositamente.

Devono essere indicate, oltre alle *specie target*, le specie di particolare interesse e le specie protette.

3. *Indagine idrologico-idraulica* completa di curve delle portate derivate e rilasciate, l'indagine deve quantificare le variazioni del pelo d'acqua a monte e a valle della traversa, simulazioni idrauliche, idrogramma delle medie mensili, portate caratteristiche con indicazione del periodo migratorio riproduttivo sul quale dovrà essere reso ottimale il funzionamento del passaggio per pesci. Le informazioni sui livelli idrici devono essere collegate a valori di portata misurati oppure stimati a partire da una stazione idrometrica presente sul corso d'acqua. E' raccomandabile fissare gli ambiti di escursione dei livelli d'acqua a partire da misure ed osservazioni piuttosto che da una modellizzazione il cui risultato è più aleatorio (soprattutto per i livelli a valle). Questi dati sono da acquisire a partire da questa prima fase di studio e non durante una fase successiva, visto che la variabilità dei livelli d'acqua sono essenziali per il dimensionamento del dispositivo.
4. *Indagine sedimentologica* con indicazione del trasporto solido del fiume: natura (limo, sabbia, ciottoli), presenza di zone di interrimento e deposito a monte e a valle.
5. *Altre indicazioni* come spiccate peculiarità ambientali del luogo, altri usi del corso d'acqua nel tratto di maggior interesse (pesca, canoa, ecc.), presenza di altre derivazioni o regolazioni la cui influenza sia sensibile nella zona di studio, ecc.
6. *Valutazione di più ipotesi progettuali* e individuazione di quella ritenuta più idonea al contesto.

MODULO 2: STUDIO DI PROGETTO, (M2-SP)

La seconda fase è destinata a confermare la fattibilità della soluzione individuata e di definirne in dettaglio le condizioni della realizzazione tenendo conto dei risultati della prima fase di studio. Questa fase consiste in sostanza nella vera e propria progettazione dell'impianto, ed è raccolta in un secondo documento costituente il modulo M2-SP e nominato *Studio di Progetto*. In definitiva, con i dati input della fase precedente (e scelta la tipologia più idonea in esclusione alle altre), si procederà alla progettazione definitiva del passaggio artificiale. In questa fase dovranno essere prodotte le seguenti tre voci:

- ⇒ Definizione della tipologia di impianto e sua effettiva fattibilità e localizzazione.
- ⇒ Planimetria e sezioni in scala. Saranno richieste planimetrie quotate alle scale 1:10.000 - 1:5.000 per la veduta d'insieme ed alle scale 1:500 - 1:200 per la vista in cartografia dei dispositivi. Sezioni significative alla scala 1:100 ed ingrandimento dei particolari in scala 1:50 (tipo dimensioni bacini, paratoie, valvole ecc.). In particolare sarà necessaria una o più tavole sulle quali figureranno l'insieme dello sbarramento e il passaggio artificiale. Inoltre, un profilo del dispositivo della captazione, una cartografia di dettaglio delle estremità a monte ed a valle (derivazione dell'acqua e restituzione delle portate) ed una mappa dei dispositivi di cattura e/o della stazione di monitoraggio biologico.
- ⇒ Relazione idraulica di funzionamento della scala ittica in rapporto alla variabilità delle portate naturali, individuazione delle modalità di restituzione (tipi di stramazzi) e controllo della portata di rilascio del DMV. Nella relazione di progetto deve essere definito il

dimensionamento geometrico del passaggio per pesci, la portata di alimentazione e quella ausiliaria, la gamma di livelli d'acqua a monte ed a valle del manufatto durante il periodo di migrazione, il range di funzionamento valido durante i periodi siccitosi, l'energia dissipata, i dislivelli d'acqua, le velocità massimali e il funzionamento dei dispositivi di regolazione.

MODULO M3-EP

Tale fase prevede la descrizione tecnica della modalità di esecuzione dell'impianto, della sua gestione e controllo di funzionamento. L'ultimo documento, nominato modulo M3-EP o di *Esecuzione di Progetto*, consiste nelle seguenti tre voci:

- ⇒ Modalità esecutive dell'opera, ovvero cenni sull'organizzazione dei lavori e cronoprogramma del cantiere. Si verificherà che l'esecuzione dell'opera avvenga in un periodo dell'anno lontano dalla stagione riproduttiva e migratoria della fauna ittica, minimizzando i disturbi all'ambiente acquatico.
- ⇒ Piano di manutenzione, dovranno essere indicate le opere di protezione contro i corpi flottanti e il materiale fluitato a ridosso della traversa. In adeguata scala grafica, potranno essere prodotti graficamente i dettagli tecnici e gli accorgimenti progettuali che si prenderanno per la protezione delle opere idrauliche, specificando i dispositivi di protezione e quelli destinati a facilitare la manutenzione dell'opera (griglie, deflettori, camminamenti) e gli eventuali componenti aggiuntivi necessari. Si indicherà in quali periodi dell'anno verranno effettuate azioni di manutenzione ordinaria da effettuare prima dell'inizio della stagione migratoria delle *specie target*.
- ⇒ Piano di collaudo, ovvero la dichiarazione di come si vuole testare l'efficacia dell'opera una volta realizzata. Sarà indicata la metodologia di collaudo (cattura del pesce con nasse, marcatura dei pesci, visual census, elettrocattura), il periodo dell'anno in cui verrà effettuato il collaudo ed il numero di volte che si prevede di effettuare i test.

IL PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE DELLA CTV (PRO-VP).

Il protocollo per la valutazione dei progetti sottoposti a verifica, costituisce un documento ad uso interno della C1-V, contenente le modalità di valutazione del progetto di passaggio artificiale proposto dal richiedente. La standardizzazione del sistema di valutazione ha due vantaggi: il primo è che garantisce la massima trasparenza ed oggettività al giudizio di valutazione del progetto tutelando proprio il richiedente, il secondo vantaggio è che, al cambio di un membro della CN o di tutta la CTV, il sistema rimane facilmente applicabile. Tale protocollo consente la valutazione di un progetto tramite una semplice matrice, con la quale viene dato un giudizio ad ognuno dei tre moduli (M1-IA, M2-SP, M3-EP) costituenti il Prot.- PP e quindi al protocollo stesso. Tramite l'uso di questa matrice, la CTV risponde al proponente con tre possibilità di giudizio:

- ⇒ Progetto approvato;
- ⇒ Progetto approvato con prescrizioni;
- ⇒ Progetto respinto.

Il sistema proposto si basa sul seguente criterio: in primo luogo l'intero Prot.-PP viene analizzato dalla CTV che verificherà che tutte le voci previste, ed ogni modulo, siano stati prodotti. In caso che manchi anche soltanto una delle voci richieste, il progetto viene automaticamente respinto con la richiesta di ripresentarlo completo. Una volta verificata la completezza di tutta la documentazione del Prot.- PP, viene analizzato ogni singolo modulo, e per ogni voce richiesta viene dato un punteggio da 1 a 4 corrispondente ad un giudizio:

Insufficiente	1
Scarsamente sufficiente	2
Sufficiente	3
Buono	4

Il protocollo Prot.-VP consisterà pertanto in una scheda che la CTV compilerà - presa visione degli elaborati forniti - ed assegnando per ogni voce il punteggio ritenuto idoneo.

PROT-VP

modulo M1-IA	Punti	modulo M2-SP	Punti	modulo M3-EP	Punti
diagnostica dei luoghi		scelta tipologica di impianto		modalità esecutive	
indagine ittiologica		progettazione definitiva		piano di manutenzione	
indagine idrologico-idraulica		relazione tecnica		piano di collaudo	
indagine sedimentologica					
indagine ambientale					
valutazione ipotesi progettuali					
punteggio totale M1-IA	...	punteggio totale M2-SP	...	punteggio totale M3-EP	...

Il punteggio totale di ogni modulo è dato dalla somma del punteggio raggiunto da ogni voce, il punteggio totale del progetto è dato invece dalla somma dei punteggi dei tre moduli. Affinché un Prot.- PP sia approvato, occorrerà che in ogni modulo (M1-IA, M2-SP e M3-EP) sia raggiunto un determinato punteggio-soglia, calcolato assegnando la sufficienza (punteggio = 3) a tutte le voci componenti il modulo stesso. Il punteggio-soglia per ogni modulo è quindi ottenuto dal prodotto del numero di voci presenti in ogni modulo, moltiplicato 3. Come mostrato in tabella, i punteggi minimi per l'approvazione di ogni modulo sono:

Punteggi: soglia per l'approvazione

punteggio M1-IA	punteggio M2-SP	punteggio M3-EP
$\geq 18 =$ approvato	$\geq 9 =$ approvato	$\geq 9 =$ approvato
punteggio minimo per l'approvazione dell'intero Prot.- PP = 36		

La CN, una volta assegnati i punteggi alle varie voci e calcolati i punteggi dei relativi moduli, pubblicherà il giudizio conclusivo secondo il seguente criterio:

- ⇒ Il progetto è approvato, se tutti i tre moduli raggiungono il punteggio-soglia previsto senza che compaia alcuna voce insufficiente (punteggio = 1). Deve verificarsi che l'intero Prot.-PP raggiunga almeno il punteggio 36.
- ⇒ Se uno o più moduli, pur presentando punteggio superiore al punteggio-soglia, presentano una voce con giudizio insufficiente, allora il progetto verrà approvato con prescrizioni, ovvero sarà chiesto di produrre una integrazione in cui la voce insufficiente sia revisionata e approfondita.
- ⇒ Se l'intero Prot.-PP, pur presentando punteggio totale superiore al minimo per l'approvazione e pari a 36, avrà un modulo con punteggio inferiore alla sufficienza, allora il progetto verrà approvato con prescrizioni; in questo caso verrà chiesto di ripresentare l'intero modulo.
- ⇒ In caso che più di una voce all'interno dello stesso modulo risultino insufficienti, oppure che due moduli raggiungono un punteggio inferiore ai limiti indicati, o che non venga raggiunto il punteggio complessivo di 36, il progetto verrà respinto. In questo caso, il richiedente dovrà presentare un nuovo progetto.

Inquadramento ecologico e faunistico

L'approfondimento e la comprensione delle caratteristiche dell'ecosistema fluviale sono attività essenziali, non solo perché completano il quadro delle conoscenze necessarie a progettare passaggi per pesci, ma anche perché possono evidenziare la necessità e, contemporaneamente, creare l'opportunità che gli stessi passaggi ittici, grazie alle soluzioni di progetto adottate, assolvano anche alla funzione di *corridoio ecologico* in grado di ristabilire quella continuità naturale persa con l'interposizione sul corso d'acqua, dell'opera di sbarramento. Se, allo sbarramento, si associa anche un'opera di derivazione idrica, è evidente che gli effetti dell'alterazione si producono di fatto non solo sulla fauna ittica - con l'impedimento delle migrazioni e gli effetti secondari che ne conseguono - ma anche e soprattutto su tutto l'ecosistema fluviale. Di fatto, una derivazione idrica può determinare:

- ⇒ La diminuzione della superficie dell'alveo bagnato e della profondità dell'acqua a valle, che si traducono in una minore produttività complessiva dell'ecosistema fluviale (Blyth, 1980). Con la riduzione dello spazio disponibile diminuisce infatti la capacità portante del corso d'acqua con un pesante danno alle popolazioni ittiche presenti;
- ⇒ la riduzione delle capacità auto-depurative del corso d'acqua e del potere di diluizione degli inquinanti;
- ⇒ l'alterazione del regime termico, che può avere ripercussioni anche gravi sulla fauna acquatica, in particolare sugli organismi stenotermi, per via del ruolo chiave che esso gioca nella regolazione dei processi vitali (maturazione sessuale, velocità di accrescimento, ecc.);
- ⇒ l'alterazione del regime idraulico, ancor più grave se prodotta da fenomeni di *hydropeaking* che provocano repentine variazioni del livello d'acqua, creando situazioni idrauliche critiche per gli organismi fluviali a danno sia della fauna ittica sia della fauna macrobentonica;
- ⇒ l'impatto anche notevole che può essere prodotto da operazioni di manutenzione dello sbarramento, per esempio da operazioni di svasso di un serbatoio artificiale. Tali operazioni colpiscono direttamente gli organismi per occlusione ed abrasione degli organi respiratori e degli apparati di filtrazione; la sedimentazione del materiale fine, inoltre, occlude gli interstizi dell'alveo distruggendo i microhabitat di invertebrati e pesci bentonici.

La progettazione di un passaggio per pesci, in corrispondenza degli sbarramenti, deve risultare il più possibile utile ed efficace nel mitigare, se non addirittura annullare, gli effetti negativi sull'ecosistema fluviale che lo sbarramento determina.

Nella fase di progettazione, gli aspetti operativi che devono essere approfonditi riguardano:

- ⇒ Naturalità e funzionalità ecologica dell'habitat fluviale e dell'habitat ripariale;
- ⇒ disponibilità e diversificazione della comunità dei macroinvertebrati bentonici;

- ⇒ composizione della comunità ittica attuale e potenziale (cioè nelle migliori condizioni di naturalità auspicabili) e caratteristiche autoecologiche e biologiche delle singole specie.

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

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

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

Aspetti biologici delle migrazioni dei pesci

Le migrazioni dei pesci, come quelle di altri animali, consistono in spostamenti da un ambiente fluviale all'altro. Questi movimenti sono diretti a raggiungere zone in cui i pesci possono trovare le condizioni che meglio si adattano alle esigenze di un particolare momento del loro ciclo vitale. Presentano un preciso aspetto adattativo, assicurando alle popolazioni ittiche le condizioni più favorevoli per la sopravvivenza e la riproduzione.

Nei pesci si possono distinguere tre tipi fondamentali di migrazione:

- ⇒ *Riproduttive*: cioè movimenti dei pesci da zone in cui trovano le condizioni adatte per nutrirsi o per svernare a zone adatte per la deposizione delle uova;
- ⇒ *trofiche* da zone in cui avviene la riproduzione e lo svernamento, verso zone in cui, essendovi buone condizioni alimentari, avviene la crescita;
- ⇒ di *svernamento* da zone in cui avviene la riproduzione o la crescita, a zone in cui viene trascorso l'inverno. In quel periodo, i pesci - animali omeotermi - cioè con temperatura corporea corrispondente a quella dell'ambiente esterno, rallentano la loro attività. In questo periodo i pesci hanno spesso la necessità di rifugiarsi in zone che offrono un adeguato riparo.

Sono relativamente poche le specie che si possono considerare sedentarie, cioè che vivono costantemente nello stesso posto. La maggior parte compie migrazioni con percorrenze in certi casi molto corte, in altri molto lunghe, spostandosi da una zona all'altra almeno una volta nel corso del loro ciclo vitale.

Il comportamento migratorio è un comportamento istintivo, innescato da particolari condizioni di crescita raggiunte dal pesce. L'inizio della migrazione riproduttiva è determinato dal raggiungimento della maturità sessuale, che spinge gli animali a ricercare i corsi d'acqua in cui sono nati e di cui ricordano le caratteristiche chimiche. Infatti, i pesci hanno capacità olfattive molto sviluppate e riconoscono l'odore dei luoghi in cui erano passati. Per esempio i salmoni sono in grado di raggiungere esattamente le aree di riproduzione da cui erano discesi alcuni anni prima, avendo memorizzato appunto gli odori delle acque (che sono dati da vari fattori, per esempio dalla componente algale propria di quel tratto di corso d'acqua).

I Ciprinidi, che comprendono il maggior numero di specie delle nostre acque, hanno invece tendenze sedentarie, ma per alcune specie presentano una necessità di migrazione, sia pure su percorsi limitati, al momento della riproduzione. Il fatto è evidente nel caso della *lasca* (*Chondrostoma toxostoma*), che dopo aver trascorso il periodo invernale nel Po, tende all'inizio della primavera a risalire gli affluenti per riprodursi su fondi ghiaiosi. Ugualmente la *savetta* (*Chondrostoma soetta*) tende a spostarsi in zone con fondale ghiaioso o pietroso al momento della riproduzione. Anche il *cavedano* (*Leuciscus cephalus*) e il *vairone* (*Leuciscus souffia*) compiono piccoli spostamenti, limitati all'affluente, alla ricerca di luoghi adatti per la frega. Molto spesso anche il *lucio* (*Esox lucius*) della famiglia degli Esocidi, si sposta, in inverno, nei fontanili per la deposizione delle uova.

Mostrano comportamento migratorio anche la *trota marmorata* (*Salmo trutta marmoratus*), la *trota fario* (*Salmo trutta*); entrambi appartenenti alla famiglia dei Salmonidi che risalgono, nel periodo di frega, verso luoghi posti più a monte e i sempre più rari esemplari di *temolo* (*Thymallus thymallus*) che in primavera risalivano verso acque poco profonde con fondali ghiaiosi e sabbiosi.

Qualsiasi specie può trovarsi nella situazione di aver bisogno di ritirarsi da tratti di corsi d'acqua momentaneamente o stagionalmente colpiti da modifiche ambientali inaccettabili (forti magre o forti piene stagionali, inquinamenti localizzati, ecc.) ma di fronte ad un'ostacolo in alveo si trovano impossibilitati a muoversi verso monte o verso valle. L'*anguilla* è quasi scomparsa, sul Fiume Po, lo sbarramento presso la Loggia ne impedisce la risalita. E' scomparso lo *storione comune* (*Acipenser sturio*) presente nel bacino del Po. In occasione del monitoraggio del 2004 in tutto il Piemonte, nessun esemplare di storione fu catturato.

Oltre alle migrazioni stagionali per fini riproduttivi, vi sono ovviamente spostamenti giornalieri per la ricerca di cibo. Si intuisce che le opere idrauliche trasversali nei corsi d'acqua, insuperabili dall'ittiofauna, creano gravi problemi:

- ⇒ Vengono limitate le possibilità di riproduzione;
- ⇒ l'accrescimento dei pesci può avvenire in modo non adeguato;
- ⇒ si ha la frammentazione della popolazione in gruppi isolati riproduttivamente, questa situazione determina anche un impoverimento genetico, una diminuzione della variabilità e quindi una minor adattabilità alle condizioni ambientali;
- ⇒ si può avere un depauperamento delle popolazioni delle zone più a monte, in seguito alle piene che hanno un effetto di trascinamento verso valle dei pesci.

Molto spesso nei nostri fiumi in primavera si possono osservare concentrazioni di *lasche*, *cavedani* e *barbi* a valle dei manufatti di sbarramento che i pesci non possono superare, non riuscendo così a compiere le loro migrazioni riproduttive e trofiche, dopo il periodo di svernamento trascorso in acque profonde.

Purtroppo il processo di frammentazione e di *insularizzazione*²⁰ degli habitat è molto accentuato anche nella fascia fluviale del Po (tutti i corridoi ecologici lungo il Po hanno delle interruzioni), per una molteplicità di fattori tra cui spiccano il caos dell'urbanizzazione, la costruzione di infrastrutture, la modificazione e la specializzazione delle pratiche colturali agricole, le attività estrattive, le opere di regimazione delle acque, specie dove comportano la sparizione di zone umide.

²⁰ Si intende un processo dinamico, solitamente di origine antropica, che divide un ambiente naturale in frammenti più o meno disgiunti tra loro riducendone la superficie originaria. È un processo che cresce su scala globale, legato all'aumento vertiginoso della popolazione umana che necessita di nuove terre da coltivare, di ampliare i centri urbani e le vie di comunicazione.

Le interruzioni possono essere di vario tipo e gravità:

- ⇒ Traverse fluviali invalicabili per i pesci e per gli altri organismi acquatici che risultano essere particolarmente gravi;
- ⇒ distruzione di fasce di vegetazione riparia;
- ⇒ eliminazione o deviazione di corsi irrigui e di canalette di scolo;
- ⇒ attraversamenti stradali.

Spostarsi anche solo per brevi distanze, da un tratto di fiume ad un altro, o addirittura migrare da un bacino idrico ad uno distante migliaia di chilometri, assume - per la fauna ittica - una enorme importanza, poiché assicura ai pesci le condizioni migliori sia per le proprie funzioni biologiche fondamentali sia per la loro sopravvivenza.

Il principio guida nella scelta delle molteplici tipologie di passaggi artificiali per la risalita dei pesci, deve soddisfare le seguenti condizioni fondamentali:

Innanzitutto il passaggio deve attrarre i pesci in un punto determinato del corso d'acqua a valle dell'ostacolo; deve consentire loro la risalita, permettendo il superamento dell'ostacolo. Perché tutto ciò si realizzi, la progettazione dei passaggi per pesci deve considerare molteplici fattori che vanno dalla composizione specifica della comunità ittica, alla biologia, alla fisiologia e all'etologia delle singole specie, al loro stato di conservazione, ecc.

Tali approfondimenti si rendono necessari per diversi motivi, i principali sono:

- ⇒ Una comunità ittica è diversamente composta e strutturata a seconda della localizzazione geografica e della tipologia del corso d'acqua abitato. Le diverse specie ittiche possono essere più o meno interessate agli spostamenti in dipendenza del proprio ciclo vitale, dello stadio vitale in cui si trovano i singoli pesci, del periodo stagionale, delle condizioni climatiche e delle caratteristiche ambientali dell'ecosistema in cui si trovano;
- ⇒ la capacità natatoria è caratteristica non solo delle singole specie ma anche all'interno della stessa specie e dei diversi stadi vitali del pesce;
- ⇒ la capacità di salto varia sia tra le specie sia tra i diversi stadi di sviluppo del pesce;
- ⇒ la temperatura dell'acqua e la velocità di corrente condizionano la massima velocità di nuoto raggiungibile dai pesci e la loro resistenza;
- ⇒ il comportamento dei pesci di fronte ad un ostacolo rivela una certa ritualità o ripetibilità che devono essere tenute in conto nella progettazione del passaggio, soprattutto dell'imbocco di valle.

Sintesi dei risultati dello studio sulle popolazioni ittiche del salmonidi autoctoni della provincia di Cuneo.

Le indagini svolte nell'aprile 2005 durante una fase di studio-sperimentazione quadriennale improntato, inizialmente, alla definizione dello stato di consistenza della popolazione del temolo, furono successivamente estese anche alla situazione della trota marmorata ed alla trota fario lungo i principali corsi d'acqua della provincia di Cuneo.

SITUAZIONE NEL BACINO DEL FIUME STURA.

La consistenza numerica della popolazione di temolo nel Fiume Stura subì una notevole riduzione, oggi il temolo - purtroppo - è scomparso; le catture - durante i campionamenti effettuati nell'aprile del 2005 - furono sporadiche ed in nessuno dei tratti indagati fu possibile osservare la presenza di una popolazione di temolo adeguatamente strutturata o di un'efficace riproduzione naturale dell'ultima stagione di frega. Analoga considerazione valeva per la trota marmorata (intesa come esemplari puri); il popolamento di trote risultava largamente dominato dagli ibridi tra trota marmorata e trota.

La sporadicità di catture di temolo e trota marmorata nell'asta principale dello Stura, rappresentava allora una sostanziale difficoltà nel reperimento dei soggetti adulti per l'attuazione di un programma di riproduzione artificiale a partire da esemplari selvatici autoctoni. Inoltre la presenza della diga di Roccasparvera non consentiva il passaggio di temoli ed oggi - di trote marmorate - verso monte (dove si trovano i tratti di maggior pregio ambientale).

BACINO DEL TORRENTE GRANA.

Per quanto riguarda la trota fario, la situazione del 2005 era abbastanza soddisfacente, eccetto nella parte alta e in quella a valle della traversa presso Valgrana.

BACINO DEL TORRENTE MAIRA.

Per quanto riguarda la trota marmorata e la trota fario, il monitoraggio del 2005 segnalava una buona abbondanza di quest'ultima e dell'ibrido nei due tratti a valle e a monte della diga di San Damiano Macra, sia pure con taglie ridotte a monte dello sbarramento, mentre la trota marmorata pura era ridotta ad una presenza sporadica.

BACINO DEL TORRENTE VARAITA.

I tratti terminali dei Torrenti Varaita e Ghiandone dimostrarono una ridottissima presenza di esemplari di trota marmorata pura e una presenza maggiore di ibridi tra marmorata e trota fario (sia pure quantitativamente modesta).

Nel caso del Torrente Varaita i problemi della presenza di trote marmorate e fario, sono riconducibili ad un notevole depauperamento della portata naturale che limita severamente la disponibilità di spazio vitale ed espone i pesci ad un maggiore rischio di predazione da parte degli uccelli ittiofagi.

BACINO DEL FIUME PO.

Anche in questo caso nel tratto vocazionale alla marmorata, la presenza di Salmonidi risultava sporadica, quasi occasionale, mentre più consistente si dimostrò quella di individui ibridi tra marmorata e fario

BACINO DEL FIUME TANARO.

Nel Torrente Negrone il campionamento del 2005 confermò la buona consistenza della trota fario sia pure con pochi esemplari adulti e di taglia modesta.

CONSIDERAZIONI FINALI.

La situazione della popolazione della trota marmorata era preoccupante, essendo la presenza di esemplari fenotipicamente puri, estremamente rara, mentre più abbondanti e strutturate erano le popolazioni di ibrido tra marmorata e fario. La scarsità di adulti, fenotipicamente puri, rende difficoltoso la realizzazione di un programma di riproduzione artificiale a partire da esemplari selvatici autoctoni.

Nel 2005, lo stato di distribuzione ed abbondanza della trota fario era - nel complesso - soddisfacente anche se vi erano alcune situazioni locali che presentavano una popolazione destrutturata o con densità anomale.

Dal punto di vista della purezza fenotipica degli individui - in relazione al cosiddetto ceppo "mediterraneo" - la situazione era invece meno soddisfacente.

In Valle Stura, nel Rio Freddo, fu individuata una popolazione superstita che, allora, poteva costituire una base di partenza per un programma di riproduzione artificiale

STATO DELL'ITTIOFAUNA SECONDO I CAMPIONAMENTI EFFETTUATI DURANTE L'ESTATE-AUTUNNO 2009 PRESSO LE 428 STAZIONI DI MONITORAGGIO REGIONALI E LE 21 PROVINCIALI.

Ciprinidi (la lettera "F" indica la frequenza percentuale delle presenze delle specie).

Nome volgare	Nome scientifico	F	Criticità	Periodo migratorio
vairone	Leuciscus souffia	57.9 %	basso rischio	da aprile luglio
cavedano	Leuciscus cephalus	52.8 %	non a rischio	da aprile a luglio
barbo	Barbus plebejus	43.7 %	basso rischio	da maggio a luglio
gobione	Gobio gobio	42.3 %	basso rischio	da aprile a giugno

Salmonidi

Nome volgare	Nome scientifico	F		Periodo migratorio
trota fario	Salmo trutta	53.7 %	stazionaria	da novembre a dicembre
trota marmorata	Salmo marmoratus	29.4 %	basso rischio	da ottobre a dicembre
salmerino di fonte	Salvelinus fontinalis	1.6 %	stazionaria	da novembre a gennaio
salmerino alpino	Salvelinus alpinus	?	stazionaria	da novembre a gennaio
trota iridea	Oncorhynchus mykiss	6.3 %	stazionaria	da novembre a gennaio

Altre specie

Nome volgare	Nome scientifico	F		Periodo migratorio
cobite	<i>Cobitis taenia bilineata</i>	34.6 %	basso rischio	da maggio a luglio
scazzone	<i>Cottus gobio</i>	23.8 %	rischio medio	da fine febbraio a maggio
persico reale	<i>Perca fluviatilis</i>	4.9 %	basso rischio	da marzo a giugno
bottatrice	<i>Lota lota</i>	0.9 %	basso rischio	da gennaio a marzo
spinarello	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0.5 5	basso rischio	da marzo a luglio

Periodi di frega

Riepilogo periodi di frega delle specie ittiche del territorio provinciale			
.	Salmonidi	Ciprinidi	Esocidi
Gennaio			
Febbraio			
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			
Ottobre			
Novembre			
Dicembre			

Durante questi periodi, sono da evitare gli interventi di alterazione degli habitat acquatici, compatibilmente con le attività antropiche già esistenti e programmate.

Velocità di nuoto e di resistenza.

I criteri di progettazione di una scala artificiale per pesci è strettamente legata sia al comportamento migratorio sia alle capacità natatorie delle specie migratrici. La capacità di movimento può essere espressa in termini di velocità di nuoto e di resistenza, durante i quali il pesce è in grado di supportare una determinata velocità necessaria per superare un ostacolo.

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

I diversi livelli di movimento nei pesci si distinguono in:

- ⇒ Picco di attività o "sprint" derivanti da un intenso esercizio fisico che non può essere esteso al di là di un periodo di tempo molto limitato, da pochi secondi ad una decina di secondi a seconda della specie e delle dimensioni del pesce ²¹;
- ⇒ attività di crociera²² che può essere mantenuta per ore senza provocare profondi cambiamenti fisiologici nel corpo del pesce.

Fra questi due livelli di movimento, esiste anche l'attività di nuoto che può essere mantenuta per diversi minuti ma con conseguente affaticamento del pesce.

Le capacità natatorie si basano su diversi fattori, in particolare la specie, le dimensioni, il suo stato fisiologico e la temperatura dell'acqua (Beach, 1984; M. Larinier 1994, 2002).

La velocità massima di nuoto e in condizioni termiche favorevoli, per il salmone è di 6 m/s fino a 8 m/s, per il barbo è di 2,40 m/s, la carpa è di 0,40 m/s e la tinca è di 0,50 m/s; queste velocità possono ridursi notevolmente per un abbassamento d'una dozzina di gradi rispetto alla temperatura ottimale. Per esempio, la velocità ottimale di nuoto d'una trota con taglia di circa 20 cm, passa da una velocità di 2.5-3 m/s con una temperatura dell'acqua di 15-18° C, a 1.5 m/s per una temperatura di 5°C.

VELOCITÀ MASSIMA.

John J. Videler (1993), propone un'equazione di velocità massima di nuoto (V_{max}), basata sull'elaborazione di risultati sperimentali (dimensioni per pesci con meno di 50 cm di lunghezza) in funzione della lunghezza L del pesce:

$$V_{max} = 0,4 + 7.4 \times L$$

Per gli individui di lunghezza di 10 e 15 cm, le velocità massime di nuoto sono rispettivamente di 1,15 m/s e 1,5 m/s. Questi valori sono relativamente vicini a quelli ottenuti sperimentalmente da S. C. Clough e A. H. Turnpenny (2001) su individui di

²¹ La velocità di nuoto massima è nell'ordine da 8 a 10 volte la lunghezza L del pesce per secondi (L/s) che per la trota rappresenta la velocità da 3 a 4 m/s.

²² La velocità massima di crociera della maggior parte delle specie è nell'ordine da 2 a 3 volte la lunghezza L del pesce per secondi (L/s) e da 3 a 4 volte L/s per i salmonidi.

diverse specie di ciprinidi (cavedani, lasche) di 15 cm di lunghezza media, la cui velocità massima è di circa 1,35 m/s.

Le specie di piccole dimensioni hanno una velocità massima limitata e non possono sostenere queste velocità se non in un tempo molto breve (da pochi secondi ad un massimo di venti secondi).

VELOCITÀ DI CROCIERA.

Il limite superiore della velocità di crociera (V_{max}) aumenta rapidamente con la dimensione del pesce. Videler (1993) propose la seguente relazione:

$$V_{max} = 0,15 + 2.4 \times L$$

Questo limite dovrebbe corrispondere alla velocità che possono sostenere i pesci per circa 200 minuti. I limiti superiori delle velocità di crociera sono comprese da 1.7-2.5 m/s per il salmone e da 0.6 a 1.3 m/s per la trota in funzione della loro dimensione.

Per gli individui di lunghezza di 10 e 15 cm, i limiti superiori della velocità di crociera, sono rispettivamente di 0.40 e di 0,50 m/s.

DISTANZA PERCORSA IN RELAZIONE ALLA VELOCITÀ DI CORRENTE

La massima distanza (D) che un pesce può coprire in un flusso di corrente ad una nota velocità (U), può essere determinata dalla seguente espressione:

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

dove: T = tempo di resistenza individuale di un pesce che nuota ad una determinata velocità V e U = velocità della corrente.

CAPACITÀ DI SALTO.

Alcune specie ed in particolare i salmonidi, presentano una buona capacità di saltare gli ostacoli, la traiettoria del salto può essere paragonata alla traiettoria parabolica di un proiettile e viene espressa tramite le due semi-equazioni:

$$X = (V_0 \cos a) \times t$$

$$Y = (V_0 \sin a) \times t - 0.5 g t^2$$

dove:

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

V_0 = velocità iniziale (m/s)

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

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

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

$$Y_{max} = (V_0 \sin a)^2 / 2g$$

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

$$X_{\max} = (V_0^2 \cos \alpha \sin 2\alpha) / g$$

Fase progettuale

RELAZIONE TECNICA E TAVOLE DI PROGETTO PER IL PASSAGGIO DI RISALITA PER L'ITTIOFAUNA.

Il progetto consiste nella realizzazione di disegni quotati di piante e sezioni significative, particolari costruttivi del manufatto, cartografia di inquadramento dell'area d'intervento e di dettaglio a valle e a monte dello sbarramento. Planimetrie dettagliate delle estremità a monte e a valle della scala ittica con eventuali indicazioni di installazione dei dispositivi di monitoraggio.

VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO IDRAULICO DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO.

In questa fase occorre verificare il funzionamento idraulico del passaggio in rapporto ai livelli idrici del corso d'acqua, con particolare riferimento agli imbocchi di monte e di valle e all'interazione con le altre opere di derivazione. Occorre inoltre dimensionare il passaggio in relazione alla portata di alimentazione e a quella ausiliaria; dovrà essere accertato il corretto funzionamento idraulico della scala ittica al variare dei livelli d'acqua (primavera e autunno) che saranno riscontrati in periodo di migrazione.

I principali parametri da valutare sono: la pendenza media, l'energia dissipata, la variabilità stagionale dei dislivelli d'acqua, le velocità massima, il funzionamento dei dispositivi di regolazione.

PIANIFICAZIONE DELLA FASE REALIZZATIVA E PREDISPOSIZIONE DELLA DOCUMENTAZIONE NECESSARIA.

Completata anche la fase prettamente progettuale vanno infine considerate, come ulteriore verifica ed elemento di controllo dell'attività tecnica svolta, le componenti preliminari della successiva fase di realizzazione per poter determinare la compatibilità tra la soluzione progettata e la sua reale esecuzione o interferenza con il sistema circostante.

In questo senso, vanno quindi approfonditi i seguenti aspetti di dettaglio:

- ⇒ Analisi delle modalità esecutive dell'opera con cenni sull'organizzazione dei lavori e cronoprogramma del cantiere, per verificare che le lavorazioni non interferiscano con momenti migratori significativi o impattino pesantemente sull'ecosistema.
- ⇒ Sviluppo di un piano di manutenzione, ovvero previsione di opere di protezione contro i corpi flottanti e materiale fluitato a valle dell'ostacolo, con indicazione dei periodi dell'anno in cui si dovrà intervenire per la manutenzione ordinaria, generalmente coincidente con il periodo precedente alla migrazione della specie target.
- ⇒ Studio di un piano di collaudo e monitoraggio, per poter testare oggettivamente l'efficacia dell'opera con individuazione, in particolare, della metodologia di controllo, del periodo dell'anno in cui verrà effettuata e del numero di volte con cui si prevede di procedere alla verifica della funzionalità.

A titolo esemplificativo, di seguito si riporta una lista descrittiva della tipologia e dei contenuti minimi della documentazione di progetto, che dovrebbe essere prodotta in sede di autorizzazione.

RELAZIONE TECNICA DEL PROGETTO CONTENENTE:

1. Descrizione dell'asta fluviale con particolare riferimento alla eventuale presenza di discontinuità del corso d'acqua (ostacoli insuperabili, derivazioni, dighe, cave) ed alla condizione di frammentazione del corridoio acquatico;
2. descrizione dettagliata della localizzazione dello sbarramento di derivazione e relative informazioni all'area di intervento: indicazione delle caratteristiche plano-altimetriche e individuazione delle aree di accesso e relativa viabilità di cantiere;
3. studio e monitoraggio sul popolamento ittico al fine di individuare le specie target;
4. indagine sedimentologica, con valutazione del trasporto solido del fiume (natura, importanza, presenza di zone di interrimento e deposito a monte e valle dello sbarramento), da cui si potranno individuare potenziali interferenze con le opere in progettazione;
5. eventuali considerazioni in merito ad altre peculiarità ambientali dell'ambiente prossimo all'intervento ed ulteriori usi del corso d'acqua;
6. quantificazione del DMV da rilasciare, individuando le risorse idriche disponibili, anche in relazione ad un utilizzo di una quota parte del DMV che alimenti il passaggio artificiale per i pesci, con l'obiettivo di determinare un corretto posizionamento degli stramazzi per i rilasci del deflusso minimo vitale;
7. verifica del rapporto fra il rilascio del DMV modulato e la quota parte dello stesso utilizzato per alimentare la scala ittica;
8. relazione dettagliata delle motivazioni di scelta di una particolare tipologia di passaggio artificiale rispetto alle altre tipologie, indicandone i vantaggi e gli eventuali svantaggi;
9. valutazione (valori stimati o misurati) delle variazioni dei livelli dei peli liberi a monte e a valle dello sbarramento, soprattutto durante il periodo migratorio delle specie target;
10. descrizione delle modalità esecutive previste per la realizzazione dell'opera con cenni sull'organizzazione dei lavori ed indicazione del cronoprogramma di cantiere;
11. piano di manutenzione della scala di risalita;

12. piano di collaudo e monitoraggio;
13. tavole di progetto.

LA PLANIMETRIA GENERALE:

1. Corografia d'insieme (scala 5.000) in cui siano evidenziati la localizzazione dello sbarramento e di almeno una o più discontinuità poste a monte e a valle dello stesso, le distanze tra le discontinuità la lunghezza del corridoio acquatico reso di nuovo percorribile a seguito della realizzazione del passaggio;
2. planimetria in scala idonea (1:2000, 1:1000) dello stato di fatto del sito d'intervento;
3. planimetria di progetto (scala 1:200, 1:100, 1:50) della soluzione proposta con l'indicazione di opere quali: imbocchi dei canali di derivazione, opere di grigliatura o sgrigliatura, scarico di fondo, punti di sedimentazione, punti riconosciuti di concentrazione dei pesci, ecc.).

Una o più tavole tecniche di progetto in scala idonea e con adeguato grado di dettaglio che dovranno essere utilizzate nella fase di cantiere, per la realizzazione dell'opera:

1. Planimetria tecnica particolareggiata (scala 1:100, 1:50, 1:20) del passaggio per pesci, con tutte le quotature utili ad individuarne sia le caratteristiche geometriche sia i particolari costruttivi;
2. profilo longitudinale, sviluppato sull'asse dell'opera con riportati, oltre alle caratteristiche geometriche, i profili idraulici (minimi e massimi) di progetto, dettagliatamente quotati con indicazione sia delle distanze progressive sia delle pendenze;
3. sezioni ritenute più significative;
4. particolari costruttivi della scala di risalita (scala 1:50, 1:20);
5. particolari costruttivi delle opere accessorie (parapetti, opere di accesso come scale e passerelle, eventuali paratoie di alimentazione, ecc.) e soluzioni adottate per le attività di ispezione, manutenzione e monitoraggio;
6. tavola di cantiere con indicazione di piste ed accessi, aree di stoccaggio dei materiali di cavo e di lavorazione, eventuali ture, interventi di messa in asciutta o di deviazione delle acque, interferenze generate dalle necessità operative di cantiere (con relativi accorgimenti atti a minimizzare gli impatti sull'ambiente), eventuali opere di ripristino.

REALIZZAZIONE DEI PASSAGGI: GESTIONE DELL'ATTIVITÀ DI CANTIERE.

Per quanto concerne l'attività di cantiere e le modalità di operare in alveo, si rimanda al testo coordinato: "*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*". Modificata con D.G.R. n° 75-2074 del 17 maggio 2011.

Il Regolamento regionale 8/R, art.1, comma 2, che fa salve le disposizioni della L.R. 37/2006, persegue l'obiettivo di garantire la tutela delle biocenosi acquatiche; l'allegato D dal titolo "*Progetti di adeguamento delle opere di presa*", al punto E3), indica i contenuti della relazione tecnica di progetto dei passaggi artificiali per l'ittiofauna. Detti contenuti, seppure riferiti a questi ultimi manufatti qualora da realizzare contestualmente agli adeguamenti delle opere di presa, sono tuttavia da ritenersi utili anche nel caso di progetti riguardanti il solo passaggio per l'ittiofauna.

Inoltre, per una maggiore e più compiuta informazione sulle modalità esecutive di una scala di rimonta, si segnala la deliberazione della Giunta provinciale di Torino n. 746/2000 "*Criteri tecnici per la progettazione e realizzazione dei passaggi artificiali per l'ittiofauna*".

Si ricorda inoltre che, in linea generale, tutti i progetti sono regolati dal D.P.R. n° 207/2010, Titolo II, "*Progettazione e verifica del progetto*".

Verifica e monitoraggio della funzionalità dei passaggi

La Legge regionale n°37/2006 “*Norme per la gestione della fauna acquatica, degli ambienti acquatici e regolamentazione della pesca*”, all’art.12 “*Lavori in alveo, programmi, opere e interventi sugli ambienti acquatici*” indica che la Regione Piemonte e le Province verificano la compatibilità degli interventi di opere che possono modificare l’ambiente fluviale. Secondo la citata legge, ai fini della salvaguardia dell’ambiente acquatico, le Province possono adottare provvedimenti di sospensione di quelle attività che possono mettere in pericolo la sopravvivenza della fauna ittica.

La L.r. n°37/2006, al comma 7, specifica che le opere idrauliche esistenti in alveo (traverse, briglie, sbarramenti, piccole dighe) - qualora siano richiesti interventi di manutenzione straordinaria o di ristrutturazione - devono essere realizzate (comma 6), idonee scale di risalita ittica.

Con 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 L.r. n° 37/2006*”, approvata con DGR n° 72 nel marzo 2010 e modificata con DGR n°75 del maggio 2011 (in attuazione dell’art.12 della citata legge regionale n°37), al punto 8 “*Passaggi per la libera circolazione della fauna ittica*”, la Regione individua le Province per la verifica della funzionalità dei passaggi per pesci.

La verifica della scala di risalita ittica, in genere inizia già durante la progettazione con simulazioni di modelli numerici, poi prosegue per tutto il periodo in cui l’opera viene lasciata in funzione. Nello specifico, ad opera conclusa, il monitoraggio di funzionalità riveste una notevole importanza: tutti i nuovi passaggi per pesci in costruzione dovrebbero prevedere sistemi, metodologie e programmi di monitoraggio della effettiva risalita della popolazione ittica, anche a distanza di anni dalla sua realizzazione.

E’ provato dall’esperienza che, seppure la progettazione abbia seguito le linee guida più standardizzate e testate sulla realizzazione dei passaggi artificiali per pesci, può accadere che, viste le innumerevoli variabili in gioco, anche solo piccole varianti e specifiche soluzioni adottate per la singola situazione locale, possono rivelarsi elementi influenti sulla reale funzionalità del passaggio rispetto alle *specie target* e agli obiettivi specifici del progetto originale.

È raccomandabile che, già nella fase di progettazione definitiva del passaggio per pesci, siano individuati programmi di monitoraggio di funzionalità del manufatto. La gran parte dei metodi di monitoraggio è comunque applicabile anche nei casi di passaggi per pesci già costruiti e attivi, per i quali si nutrano dubbi sulla reale funzionalità. L’obiettivo generale del monitoraggio è evidentemente quello di verificare che esso risulti concretamente efficace nel consentire la risalita dei pesci da valle verso monte.

Nello specifico, tale obiettivo è raggiunto qualora si verifichi che:

- ⇒ I pesci sono effettivamente richiamati verso l’imbocco del passaggio;
- ⇒ i pesci utilizzano efficacemente il passaggio e superano senza difficoltà lo sbarramento;

- ⇒ una volta superata la scala, i pesci risaliti a monte, non siano vittime in maniera significativa di stress e lesioni che ne possano facilitare la morte per malattia o per predazione.

Verificate queste tre condizioni, si può affermare che il passaggio è funzionante. Non è però detto che un passaggio resti egualmente attivo per tutto il periodo della sua esistenza: potrebbero infatti intervenire eventi eccezionali (naturali o di altro genere), in grado di alterare anche in maniera minima e impercettibile la struttura del passaggio, influenzandone negativamente la funzionalità. Questo è il motivo per il quale non è sufficiente testare il passaggio al momento della sua realizzazione, ma è fondamentale proseguire il monitoraggio anche in seguito. La situazione ideale è certamente quella che prevede un sistema di monitoraggio automatico in continuo per tutta l'esistenza e l'attività del passaggio. E' importante non solo la durata del monitoraggio, ma anche una continuità nel tempo; queste campagne di monitoraggio, dovrebbero essere programmate preferibilmente durante i periodi di principale migrazione, che possono differire a seconda delle specie ittiche target, della località e delle condizioni meteorologiche.

In sede di elaborazione di un piano di monitoraggio ed anche al momento stesso della valutazione della funzionalità del passaggio, dovrebbero essere tenuti particolarmente in considerazione i seguenti aspetti biologici e tecnici:

- ⇒ La comunità ittica potenziale e lo stato attuale della comunità ittica presente, sia nel tratto a valle sia in quello a monte dello sbarramento;
- ⇒ l'effettiva risalita di tutti i migratori presenti;
- ⇒ l'attuale sistema di connessione naturale delle acque sullo sbarramento e lungo il passaggio;
- ⇒ l'osservanza dei requisiti richiesti al passaggio artificiale;
- ⇒ l'eventuale proposta di adeguamenti e modifiche del passaggio utili alla sua ottimizzazione

Un piano di monitoraggio che tenga conto di questi aspetti può comprendere una o più metodologie di rilevamento tra quelle descritte. A livello internazionale sono stati sperimentati differenti metodi di verifica del funzionamento di un passaggio artificiale. raggruppabili in due categorie:

1. Metodi indiretti che prevedono il controllo del funzionamento idraulico e meccanico del passaggio ittico e della sua posizione rispetto all'alveo;
2. metodi diretti che consistono invece nella raccolta di informazioni biologiche indicatrici del passaggio dei pesci attraverso lo sbarramento e quantitative, quali il conteggio dei pesci che transitano.

A seconda della tipologia di passaggio, della fauna ittica presente, delle disponibilità logistiche e finanziarie, sono adottabili diversi metodi e strumenti di verifica della funzionalità dei passaggi artificiali.

METODI INDIRETTI.

Il monitoraggio della funzionalità di un passaggio artificiale non richiede indagini dirette sulla fauna ittica, sulla presenza di specie particolari, sulla composizione specifica della comunità e sulla struttura demografica delle singole popolazioni a monte e a valle dello sbarramento, nonché sull'effettiva risalita attraverso il passaggio, ma richiede la verifica di una serie di parametri di riferimento e di condizioni riferite piuttosto al ripristino della percorribilità fluviale.

Si tratta in questo caso di verifiche indirette, compiute attraverso sopralluoghi in corrispondenza dell'opera realizzata, finalizzati a rilevare una serie di verifiche idrauliche in grado di confermare che il passaggio artificiale sia conforme ai criteri definiti dal progetto.

Una volta appurata tale conformità, occorre verificare che le caratteristiche strutturali del dispositivo stesso - così com'è stato concepito - sia idoneo a consentire il passaggio della fauna ittica.

Le verifiche *indirette* consistono in una serie di operazioni, di seguito elencate:

CONTROLLO DEI PARAMETRI IDRAULICI.

Si tratta di misure idrauliche da eseguire in differenti punti del dispositivo, ad esempio a monte e a valle con l'obiettivo di verificare che la profondità dell'acqua, la velocità di corrente, la turbolenza, l'altezza dei salti all'interno del dispositivo in ingresso e in uscita, siano sempre compatibili con le particolari esigenze di nuoto di ogni specie di cui s'intende garantire il passaggio. Le misure devono essere eseguite in diverse condizioni di portata (magra, morbida) e, in particolare, in corrispondenza di quelle tipiche del periodo di migrazione più intensa. Ovviamente è necessario essere a conoscenza dei requisiti idraulici tollerabili dalle specie in questione.

Nel caso, per esempio, di un passaggio a bacini successivi, i parametri idraulici da verificare sono:

- ⇒ Altezza del bacino (nel caso di passaggio a bacini successivi);
- ⇒ numero complessivo di bacini;
- ⇒ variazioni di pendenza;
- ⇒ quota del bacino di ciascun tratto e altezza dell'acqua;
- ⇒ portata in ingresso;
- ⇒ altezza del battente d'acqua;
- ⇒ lunghezza e larghezza del bacino bagnato;

- ⇒ velocità di corrente in diversi punti del bacino;
- ⇒ rilevazioni all'interno del singolo bacino (altezza e larghezza del setto, altezza, larghezza e forma degli angoli degli orifizi superiori, o stramazzi. Carico idraulico, cioè l'altezza dell'acqua sullo stramazzo, altezza, larghezza e forma degli angoli degli orifizi di fondo, o battenti).

CONTROLLO DEGLI ORGANI MECCANICI.

Per i dispositivi a bacini successivi e a rallentamento, la verifica consiste nel controllo delle strutture che regolano il flusso d'acqua.

RILIEVO DELL'ALVEO DI MAGRA A MONTE E A VALLE DELL'OPERA.

È necessario verificare che l'imbocco del passaggio non smetta mai di esercitare la propria funzione di richiamo (attrattività) del pesce anche in periodo di magra idrologica e che un ulteriore ed eventuale deflusso a valle dello sbarramento non eserciti un richiamo che allontani i pesci dall'imbocco del passaggio. Per compiere una tale verifica, occorre effettuare le seguenti rilevazioni a livello dell'alveo:

- ⇒ Rilievo topografico della sezione a monte e a valle del passaggio (nel caso di un passaggio a bacini successivi: una sezione in corrispondenza del bacino iniziale e una o più sezioni in corrispondenza dell'ultimo bacino);
- ⇒ misure idrauliche della sezione rilevata a monte e a valle (profondità dell'acqua, velocità di corrente);
- ⇒ pelo libero a monte e a valle del passaggio.

VALUTAZIONE DELL'OSTRUZIONE DEL DISPOSITIVO.

L'ostruzione del dispositivo può essere imputata a corpi di varia natura, che possono impedire il passaggio dei pesci, oppure che determinano una riduzione del potere di attrazione del dispositivo stesso. I punti più delicati da controllare sono l'imbocco della scala, le aperture fra bacini, i punti di immissione dell'acqua.

METODI DIRETTI.

I metodi diretti consistono nel monitoraggio diretto della fauna ittica al fine di valutare l'effettivo utilizzo del passaggio da parte di tutte le specie ittiche. Anche in questo caso, possono essere impiegate diverse metodologie di indagine, alcune delle quali possono ritenersi complementari tra loro, altre invece alternative l'una all'altra:

VALUTAZIONE DELLA COMUNITÀ ITTICA A MONTE E A VALLE DELLO SBARRAMENTO.

Ad una prima osservazione visiva della zona a valle del passaggio, è possibile ricavare informazioni importanti riguardo alla funzionalità del manufatto. Infatti, una particolare concentrazione di pesci a valle indica, con ogni probabilità, che esistono impedimenti alla risalita degli animali attraverso il passaggio che i pesci non riescono ad imboccare. Per una valutazione quantitativa, si deve invece ricorrere ad un campionamento ittico a valle dello sbarramento, da condurre mediante elettrostorditore; può essere utile un

confronto fra la densità a valle e quella a monte del passaggio artificiale, anch'essa da determinare mediante un campionamento mirato.

Ovviamente il tutto implica che ci sia un adeguato DMV, tale da consentire, oltre all'eventuale funzionamento del passaggio, anche la presenza di pesci a valle dello sbarramento; senza un adeguato deflusso, infatti, le densità a valle dello sbarramento saranno basse, anche se il passaggio non funziona.

Un'ulteriore fonte informativa è costituita dalla struttura di popolazione a valle del passaggio, che può fornire indicazioni su eventuali selezioni delle taglie degli individui che riescono a passare. La definizione della struttura di popolazione può essere ricavata dal campionamento ittico, rilevando la taglia degli individui catturati.

Si può procedere al controllo dei risultati in molti modi:

- ⇒ Marcando e ricatturando animali in migrazione con elettrostorditore o con gabbie di cattura automatiche o manuali.
- ⇒ Installando *fish counters* automatici oppure telecamere.
- ⇒ Installando camere di osservazione in cui collocare personale e/o automatismi all'infrarosso.
- ⇒ Catturare i pesci a valle e dotarli di microchip, il giorno seguente - a monte dello sbarramento - si esegue la cattura.

Alcune soluzioni si presentano a prima vista laboriose e di valore prettamente sperimentale, ma viene considerato economico e necessario ricorrere almeno a rilevatori automatici delle variazioni di un campo elettrico per seguire e valutare l'entità numerica ed anche la direzione del transito dei pesci. Spesso i contatori automatici sono addirittura obbligatori e vengono usati per raccogliere dati sulle evoluzioni delle migrazioni e quindi sullo stato dei popolamenti ittici. L'uso di telecamera IR è in genere fondamentale nel caso si gestisca un grande impianto. Tanto in U.S.A. che in Francia, pubblico e scolaresche, frequentano piccoli musei locali di idrobiologia allestiti all'interno di grandi passaggi per pesci, potendo assistere al transito degli stessi.

MARCATURA E RICATTURA DI INDIVIDUI

Lo studio delle migrazioni tramite cattura, marcatura, rilascio e ricattura, permette di verificare eventuali spostamenti e verificarne anche le distanze di migrazione. Il metodo prevede le seguenti fasi:

- ⇒ Un campione di pesci (di una o più specie target, per uno o più stadi vitali) viene catturato a valle del passaggio artificiale, marcato (con uno dei metodi di marcatura oggi disponibili) e nuovamente liberato nello stesso sito;
- ⇒ successivamente, in periodo post-migratorio, si eseguono dei campionamenti a valle e a monte del passaggio, per verificare la proporzione di individui marcati e campionati che sono passati, rispetto a quelli rimasti a valle.

SCALE DI RISALITA A SERVIZIO DELLE DERIVAZIONE IDRICHE

Le problematiche di tipo idraulico cui fare riferimento per la progettazione delle scala di risalita su traverse a servizio di derivazioni idriche sono probabilmente maggiori rispetto ai casi trattati in precedenza in quanto tali dispositivi dovranno adempiere anche agli obblighi di rilascio del deflusso minimo vitale ed essere compatibili con l'esercizio del prelievo. Nelle pagine che seguono, si evidenziano alcuni approfondimenti in merito alla localizzazione, alla compatibilità con le strutture di derivazione, alla misurabilità delle portate defluenti ed alla definizione della portata transitante nella scala di risalita ittica.

NECESSITÀ DELLA SCALA DI RIMONTA

Richiamando ancora la DGR n° 72/2010, modificata con DGR n°75/2011, al punto 8 Passaggi per la libera circolazione della fauna ittica, [...] *l'obbligo di realizzare passaggi per la libera circolazione della fauna ittica non si applica nei casi in cui non sia possibile la realizzazione di dispositivi idonei ed efficaci a causa di:*

- 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."*

E al punto 9: Disciplinari per le concessioni di derivazioni d'acqua, [...] *la redazione dei disciplinari delle nuove concessioni e dei rinnovi di concessione di derivazioni d'acqua superficiale, ai fini della tutela della fauna ittica, deve tenere conto delle presenti disposizioni.*

Dove sono presenti manufatti che non consentono la libera circolazione della fauna ittica, fatti salvi gli obblighi di adeguamento previsti al punto 8, il concessionario è tenuto all'obbligo ittiogenico ossia all'onere, di norma annuale, di immettere fauna ittica nelle quantità e tra le specie dell'allegato C) del Regolamento regionale 21 aprile 2008, n. 6/R, indicate dalla Provincia quale compensazione del complesso degli impatti residui comunque determinati dalla derivazione sull'ittiofauna e sul suo ambiente di vita. Su valutazione della Provincia, in alternativa all'immissione di ittiofauna, potrà essere imposta al concessionario, la corresponsione del controvalore in denaro da destinarsi a opere di compensazione e mitigazione ambientale, ovvero ad interventi di rinaturalizzazione del corso d'acqua per aumentare la produttività ittiogenica del corpo idrico naturale interessato dalla derivazione [...].

Pertanto qualora non sussistano gli obblighi di realizzazione del passaggi per la libera circolazione della fauna ittica saranno da privilegiarsi dispositivi di rilascio da attuarsi sulla medesima sponda di prelievo (ciò al fine di evitare l'occlusione derivante dall'accumulo di materiale, in quanto sulla medesima sponda su cui avviene il prelievo, è presente il filone principale della corrente. Come noto dai principi dell'idraulica fluviale, infatti, il materiale solido trasportato dalla corrente deposita dove si ha una diminuzione della velocità della corrente, ovvero sulla sponda opposta).

LOCALIZZAZIONE DEI DISPOSITIVI DI RILASCIO

Tenendo presente che risultano da preferire dispositivi che minimizzino la manutenzione e che siano il più possibile autopulenti, la localizzazione della scala di risalita deve essere condotta tenendo conto:

- ⇒ della tipologia di traversa di derivazione (fissa o abbattibile, a presa laterale o a trappola);
- ⇒ della morfologia e della tendenza evolutiva dell'alveo;
- ⇒ della distribuzione delle velocità a monte dell'opera;
- ⇒ del trasporto solido, con particolare riferimento alle condizioni di esercizio della derivazione nell'intervallo delle portate di utilizzo, al fine di individuare la localizzazione, o meglio la sponda che minimizzi l'interrimento dei dispositivi di rilascio.

Si rileva comunque che, nella maggior parte dei casi la sponda opposta a dove avviene il prelievo d'acqua, è una zona caratterizzata da minori velocità idriche con maggiore probabilità di accumulo di materiale depositato e conseguente riduzione od occlusione delle luci disponibili. Ove non si preveda la localizzazione sulla sponda dove avviene il prelievo d'acqua, dovrà essere dimostrato - attraverso una modellizzazione del trasporto solido - che la localizzazione sulla sponda opposta, presenta le migliori condizioni.

Si riportano alcuni riferimenti tratti da *"I passaggi per la risalita dei pesci. Principi di ecologia fluviale ed indicazioni progettuali"*, pubblicato dalla Provincia di Bergamo, Ass.to Agricoltura Caccia e Pesca. Servizio Faunistico Ambientale, a cura della GRAIA Srl in merito alla localizzazione delle strutture di risalita:

"Il passaggio collocato su una sponda è preferito ad una collocazione centrale allo sbarramento, dato che i pesci si spostano maggiormente lungo le sponde. In questo modo è anche più immediata e semplice la manutenzione ordinaria delle struttura".

"Derivazioni idroelettriche. L'ubicazione del passaggio è consigliabile in prossimità dello scarico delle turbine, in caso di grandi fiumi è preferibile disporre anche un secondo passaggio lungo la sponda opposta alla centrale".

Foto

Interrimento della sponda opposta a quella di prelievo

COMPATIBILITÀ DELLE SCALA DI RISALITA CON LE STRUTTURE DI DERIVAZIONE

Altro aspetto che deve essere tenuto in conto nella localizzazione della scala di risalita, è legato alla verifica delle velocità presenti all'imbocco del canale derivatore (verifica che dovrebbe essere condotta in termini di portata massima prelevabile dalla derivazione idrica) con quelle che l'ittiofauna può sostenere in modo da evitare che venga trascinata nelle opere di derivazione.

Particolare attenzione dovrà essere posta nell'individuazione di accorgimenti volti all'impedire che la fauna ittica possa inoltrarsi nel canale di derivazione o nelle condotte.

MISURABILITÀ DELLE PORTATE DEFLUENTI

Occorre garantire ai soggetti che effettuano rilievi sulle derivazioni, dispositivi che permettano in modo agevole e preciso la verifica del rispetto del DMV attraverso una misura secondo norme ISO o prassi idrometriche riconosciute, fondamentale per avviare qualsiasi procedimento di verifica.

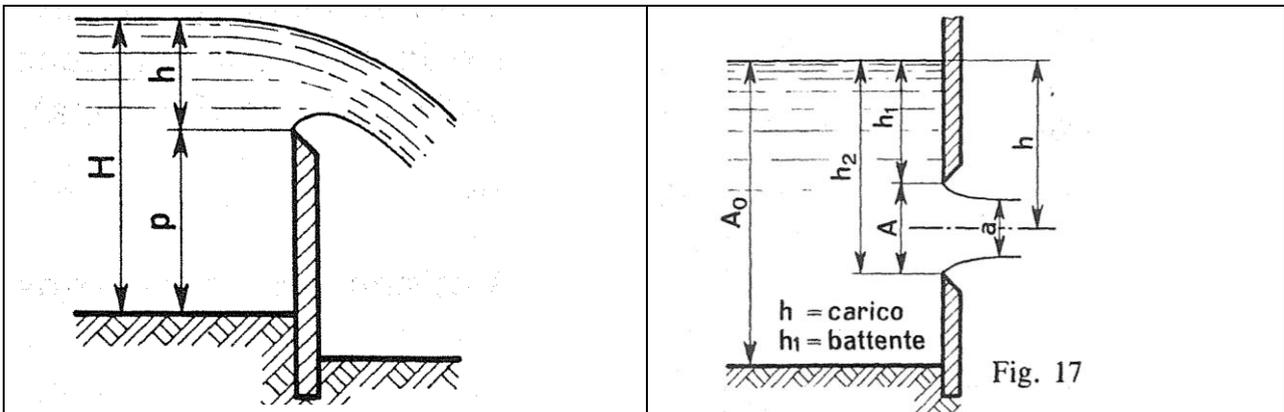
Tale aspetto è sicuramente garantito sia dalle bocche tarate, che dagli stramazzi liberi (Bazin, Thomson, ecc.) che sono anche strumenti di misura; si rileva invece che stramazzi o bocche rigurgitati (soluzione spesso adottata) richiedono invece collaudi specifici, maggiormente problematici in quanto la portata defluente è funzione sia del livello di valle che di monte. Si comprende inoltre, che in presenza di dispositivi complessi, l'intasamento e la manutenzione rappresentano una questione molto importante. L'eventuale presenza di materiale accumulato all'interno dei dispositivi rende la relazione *portata/livelli* (scala delle portate) ricavata in sede di collaudo, scarsamente utilizzabile.

In fase progettuale, occorre valutare se i salti idrici, conseguenti la realizzazione degli stramazzi liberi siano compatibili con le *specie target* individuate.

Una soluzione che può essere percorsa al fine di rendere misurabile la portata defluente da una scala di risalita dell'ittiofauna, può essere rappresentata dall'inserimento di un misuratore a risalto (cfr. software WinFlume dell'USBR) che non comporta salti idrici e risulta autopulente.

DEFINIZIONE DELLA PORTATA TRANSITANTE SULLA SCALA DI RISALITA
Sensibilità alla variazione del livello idrico di monte.

I dispositivi di rilascio possono essere principalmente ricondotti a *stramazzi* (a parete sottile e spessa, rigurgitati e liberi) o all'*efflusso da luci* ricavate nelle opere di derivazione.



Si osserva che lo stramazzo è particolarmente sensibile alla variazione del carico di monte, specie se il dispositivo è stato previsto con larghezza elevata; infatti variazioni di pochi centimetri del livello idrico comportano notevoli variazioni della portata defluente (con uno stramazzo largo 1 m, incremento del livello di 2 cm, incrementa le portate defluenti del 30%); al contrario le *bocche a battente*, garantiscono una maggiore costanza delle portate defluenti a parità di variazione del livello di monte.

Occorre inoltre considerare che attuare contemporaneamente rilasci da *stramazzi* e *bocche a battente* può comportare, in caso di portate del corpo idrico inferiori al DMV, che vi sia la mancata alimentazione della scala di risalita.

Pertanto dovrà essere verificato che tale problematica sia limitata a periodo di tempo limitati e che non vi siano interferenze con i periodi migratori delle specie ittiche di riferimento.

DIPENDENZA DEI DISPOSITIVI DA ORGANI DI REGOLAZIONE

Per le *bocche a battente* sono da privilegiare dispositivi come orifici tarati sollevati dal fondo, evitando luci molto larghe, difficilmente verificabili e facilmente occludibili dal materiale trasportato dalla corrente. Risultano da evitare i rilasci attuati sollevando le paratoie di sghiaio di pochi centimetri o millimetri.

Altro aspetto preferibile degli orifici rispetto all'apertura di una paratoia, è data dalla maggiore indipendenza da dispositivi di regolazione e dalla facilità di controllo durante l'esercizio.

OCCLUSIONE DEI DISPOSITIVI

L'occlusione dei dispositivi, sia quelli di presa sia quelli di rilascio, è un fenomeno sempre presente, visto e considerato che nei corsi d'acqua spesso è trasportato dalla corrente materiale litoide (sul fondo) e flottante (legname, foglie, ecc.).

Si dovranno adottare opportuni accorgimenti atti a evitare o limitare gli interventi di manutenzione. Le scale di risalita e le bocche a battente localizzate sulla traversa di derivazione, sono particolarmente soggette a tali fenomeni. Spesso si prevede la misurazione del rilascio mediante un misuratore di livello posto a monte dello stramazzo o della bocca, ma è chiaro che se la bocca è ostruita i dati raccolti presentano scarso significato. Indubbi vantaggi per una efficace protezione dei manufatti di una derivazione è la presenza di alcuni semplici dispositivi (paratronchi, griglie) localizzati nel primo tratto del canale derivatore.

DEFINIZIONE DELLA PORTATA TRANSITANTE SULLA SCALA DI RISALITA

Spesso gli studi relativi alla progettazione delle scale rimonta, trattano questo argomento in misura limitata occupandosi prioritariamente di progettazione di dispositivi di risalita di soglie o briglie con funzione di sicurezza idraulica e che pertanto destinano portate molto elevate all'alimentazione della citata struttura.

L'Allegato D del Reg. n.8/R 2007 "*Disposizioni per la prima attuazione delle norme in materia di deflusso minimo vitale*" indica:

"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".

Spesso, è adottata una soluzione che prevede la ripartizione del DMV sulla scala di risalita, tale accorgimento, ha come beneficio, che la quota più cospicua della portata, venga rilasciata tramite un dispositivo che offre una regolarità dei rilasci anche per modeste variazioni del livello idrico a monte.

Se tale soluzione non trova impedimenti con portate elevate, necessita invece valutazioni più approfondite per le opere di presa che rilasciano un DMV non minimo.

La quota restante del DMV potrà transitare in adiacenza alla scala di risalita in modo da salvaguardare l'attrattività in prossimità del manufatto.

I dispositivi delle opere idrauliche di una derivazione dovrebbero privilegiare (come ubicazione) la medesima sponda dove avviene il prelievo. I dispositivi che offrono maggiori garanzia sono le *bocche a battente* (localizzate a valle di dispositivi di protezione del primo tratto del canale derivatore). Non sono escludendo altre modalità di rilascio, si forniscono alcune indicazioni sulle tipologie di rilascio che garantiscono i migliori risultati. In sede di progettazione e di esame dei progetti non sono da escludere soluzioni che implicino parametri diversi da quelli descritti.

Tuttavia ogni ipotesi progettuale alternativa dovrà essere corredata da specifiche relazioni idonee a dimostrare la migliore efficacia del passaggio articoli dell'ittiofauna rispetto a quanto sopra indicato.

Gli ostacoli invalicabili dell'ittiofauna in prossimità della traversa

BARRIERE ELETTRICHE.

Una barriera elettrica può essere immaginata come un ostacolo invalicabile mentre un sistema di guida conduce il pesce nella direzione desiderata.

La barriera è costituita da file di elettrodi tra i quali viene applicato un voltaggio che, attraverso l'acqua, produce un campo elettrico. Una delle caratteristiche più importanti che si devono ottenere quando si progetta una barriera è la gradualità del campo elettrico. Man mano che il pesce avanza all'interno del campo deve sentire una sensazione di formicolio della muscolatura che diventa sempre più sgradevole. Quando questa sensazione è troppo intensa il pesce non riesce più ad avanzare e a mantenere il proprio corpo orientato correttamente rispetto alla corrente dell'acqua. In sostanza è la corrente che "guida" il pesce nella direzione opposta rispetto alla zona che si vuole proteggere.

Le barriere e i sistemi di guida devono utilizzare corrente continua con impulsi di breve durata che causano meno stress al pesce. L'estensione del campo è importante: deve esercitare un'azione molto estesa per impedire ai pesci che nuotano più velocemente di passare attraverso la zona elettrificata. L'aumento di tensione specifica, deve essere graduale in modo da evitare il pericolo di pesci che si spostano repentinamente da un campo debole ad uno con un valore eccessivo.

SISTEMI BIO-ACUSTICI.

Utilizzano una cortina di bolle di ossigeno unite ad una serie di impulsi sonori. I sistemi bio-acustici, vengono utilizzati per far deviare i pesci rispetto al flusso principale della corrente, per esempio in prossimità del canale derivatore che adduce alle opere di captazione o verso un canale secondario.

GRIGLIATI METALLICI.

Griglie con maglie non superiori a 15 mm. Possibili problemi di ostruzione delle maglie con materiale leggero trasportato.

Indici di priorità di intervento

QUANTIFICARE LA FRAMMENTAZIONE DI UN CORSO D'ACQUA.

I corsi d'acqua della maggioranza dei bacini idrografici della provincia risultano molto frammentati nella loro continuità longitudinale dalla presenza di opere trasversali realizzate per i più disparati motivi. Generalmente il tratto montano di un corso d'acqua risulta interrotto, soprattutto da opere di sistemazione idraulico-forestale, ma anche da ostacoli naturali come cascate, salti naturali, ecc. I tratti pedemontani e collinari sono invece interessati da sbarramenti per uso idroelettrico, mentre i tratti di fondo valle e di pianura sono generalmente caratterizzati da sbarramenti per uso irriguo o da opere di sistemazione per la regimazione e la difesa dal rischio idraulico come perimetrazione di zone di esondazione, soglie per casse di espansione, sezioni fisse per limitare l'erosione degli alvei.

Definito come *rapporto di continuità* (RC) la relazione tra la lunghezza (Lt) di un tratto di corso d'acqua misurato in km ed il numero di sbarramenti (N) gravanti su di esso, risulta che, nella maggior parte dei casi, il quoziente è minimo nei tratti montani e tende a crescere nei tratti di pianura e nelle zone di estuario.

$$RC = Lt/N$$

Su questo semplice concetto sono stati ideati appositi indicatori ambientali in grado di quantificare lo stato di frammentazione di un corso d'acqua per poterlo comparare con quello di altri risultanti integri, al fine di scegliere e pianificare interventi per il ripristino della continuità fluviale. Questi descrittori ambientali sono denominati INDICI DI PRIORITÀ DI INTERVENTO.

Gli *indici*, rispondono ad una esigenza di pianificazione fluviale in modo da poter quantificare la *priorità* degli *interventi* in determinati contesti fluviali: interventi finalizzati al ripristino della circolazione dell'ittiofauna sia a livello di intere aste fluviali sia in parti di esse.

Si sottolinea infatti che non è possibile pensare la realizzazione di passaggi per pesci per ognuna delle centinaia di briglie esistenti in un solo bacino idrografico di medie dimensioni, ma è opportuno collocarle primariamente in quelle zone maggiormente interessate dalla popolazione ittica o determinate da altre esigenze vitali di ripristino di ambienti acquatici.

GLI INDICI IPS E IPT

Gli indici di priorità sono descrittori ambientali, ovvero strumenti di uso pratico ed applicativo per la valutazione delle priorità di intervento nel caso della realizzazione di un certo numero di passaggi artificiali lungo un'asta fluviale o su di un bacino. Si tratta di indici numerici adimensionali per i quali, al crescere del valore, maggiore è la necessità (priorità) di intervento:

IPS: INDICE DI PRIORITÀ DI INTERVENTO SUL SINGOLO SBARRAMENTO.

Si utilizza per confrontare l'intervento su uno sbarramento piuttosto che su un altro o su differenti corsi d'acqua.

IPT: INDICE DI PRIORITÀ DI INTERVENTO TOTALE.

Si utilizza su un singolo bacino, su una porzione di esso o su bacini differenti.

Gli indici sono stati messi a punto per favorire la progettazione di passaggi per pesci presso:

- ⇒ Corsi d'acqua con scarsa frammentazione longitudinale, così che sia più agevole il ripristino della continuità fluviale;
- ⇒ corsi d'acqua frammentati in cui il tratto a monte dello sbarramento sia di una lunghezza significativa rispetto a quello a valle;
- ⇒ opere di sbarramento di modesta altezza, in cui l'intervento risulti più semplice e meno costoso rispetto ad opere trasversali di grande altezza;
- ⇒ presenza di specie ittiche con spiccate esigenze migratorie, autoctone e protette, rispetto a quelle stanziali, alloctone, indesiderate e non protette.

Gli *Indici di Priorità* sono adattabili ai differenti distretti ittico/idrografici presenti sul territorio regionale, modificandone i valori attribuiti a talune specie ittiche o aggiungendo le eventuali specie mancanti. Inoltre il loro computo risulta semplice e speditivo, essendo calcolabili con una semplice raccolta dati.

Per il calcolo degli indici di priorità di intervento è necessaria la conoscenza dei seguenti parametri:

- ⇒ Lunghezze dei tratti di corso d'acqua misurate in km;
- ⇒ altezze, misurate in metri, degli sbarramenti esistenti e il loro numero;
- ⇒ presenza di specie ittiche e relative caratteristiche biologiche, indicizzate con un coefficiente indicato con K_i e tipico per ogni singola specie.

Tali dati, in bibliografia, sono facilmente reperibili in quanto è sufficiente una cartografia dell'area di studio in scala almeno 1:10.000, il rilievo dell'altezza degli sbarramenti e la carta ittica, o il campionamento, se necessario, per la determinazione del popolamento ittico.

CALCOLO DI IPS E IPT

L'Indice di Priorità di Intervento sul singolo sbarramento è calcolato come:

$$IPs = Ms * I$$

Dove:

Ms (fattore morfologico) = $(L_v + L_m) * L_m / L_v * 1/H$

I (fattore ittico) = $\sum k_i$

L_v = lunghezza del tratto continuo a valle dello sbarramento;

L_m = lunghezza del tratto continuo a monte dello sbarramento;

H = altezza dello sbarramento;

Σk_i = sommatoria dei coefficienti di priorità k_i delle specie presenti.

Il *fattore morfologico* M_s contiene i parametri fisici caratterizzanti il sito di intervento, ovvero la lunghezza fluviale totale che si raggiunge unendo i due tratti del corso d'acqua, nonché l'altezza dello sbarramento da superare. Il fattore M_s , tiene conto inoltre, del rapporto dimensionale dei due citati tratti, ovvero della significatività del tratto di monte che si va a collegare a quello di valle.

Il *fattore ittico* Σk_i tiene conto invece delle specie presenti nel corso d'acqua, sia dal punto di vista della loro attitudine migratoria sia del valore naturalistico (specie protette) che esse assumono nel contesto specifico in cui è localizzato l'intervento (per esempio all'interno di un SIC).

L'Indice di Priorità di Intervento totale è calcolato come:

$$IP_t = M_s * I$$

Dove:

M_s (fattore morfologico) = $(L_t) * 1/N\Sigma h_i$

I (fattore ittico) = Σk_i

L_t = lunghezza totale dell'asta fluviale raccordata, o porzione di essa;

N = numero degli sbarramenti da superare;

$\Sigma h_i = (h_1 + h_2 + \dots + h_n)$ = sommatoria delle altezze di tutti gli sbarramenti da superare;

Σk_i = sommatoria dei coefficienti di priorità k_i delle specie presenti.

Il *fattore morfologico* M_s , contiene i parametri fisici caratterizzanti il sito di intervento, ovvero la lunghezza totale che si raggiunge unendo tutti i tratti del corso d'acqua, nonché il numero degli sbarramenti da dotare di passaggio per pesci e la sommatoria delle loro altezze.

Questo fattore contiene il *rapporto di frammentazione* poiché $L_t/N = RF$.

Il *fattore ittico* I , tiene conto delle specie ittiche presenti nel corso d'acqua, sia dal punto di vista della loro attitudine migratoria sia del valore naturalistico (specie protette) che esse assumono nel contesto specifico in cui è localizzato l'intervento.

A parità di lunghezza totale ($L_v + L_m$), altezza dello sbarramento (H) e fattore ittico I , è favorito l'intervento sull'affluente A, dato che il tratto raccordabile, a monte dello sbarramento, è significativamente più lungo di quello a valle.

A parità di lunghezza totale (L_t), di sommatoria delle altezze degli sbarramenti (Σh_i) e fattore ittico I , è favorito l'intervento sull'affluente B, dato che il numero di sbarramenti su cui intervenire è minore, (tratto B $N = 3$, tratto A $N = 4$).

inserisci FIGURA

VALUTAZIONE DEL KI

Il ki esprime l'importanza della singola specie all'interno del distretto ittico, o comunque del territorio in studio; è stato ideato per essere flessibile ed adattabile a qualsiasi contesto geografico. La valutazione del ki è principalmente rivolta alla attitudine migratoria delle specie e, solo secondariamente, al suo valore conservazionistico.

La sua determinazione si basa su due parametri: *Mobilità* (Mob) e *Valore naturalistico* (Vn) ai quali viene attribuito un punteggio secondo la scala riportata in tabella.

La somma dei due parametri, elevata al quadrato, costituisce il *coefficiente di priorità* per la specie ittica. La scelta di una funzione non-lineare nel calcolo del ki è dovuta alla volontà di dare maggior peso ai grandi migratori ed alle specie protette, rispetto a specie con esigenze migratorie limitate e di ridotto interesse naturalistico, oppure alloctone.

$$ki = (Mob + Vn)^2$$

Dove la Mobilità (Mob), rappresenta la capacità, se non la necessità, di compiere spostamenti migratori più o meno lunghi sull'asta fluviale per motivi trofici o riproduttivi. Tale valore è massimo per i grandi migratori, ridotto per le specie stanziali e nullo per le specie alloctone. La scala è ripartita in cinque classi con punteggio da 0 a 5. Questo parametro è quello di maggior peso nel calcolo del ki.

Vn = *Valore naturalistico*, tiene conto del pregio naturalistico di una specie, a seconda della sua appartenenza o meno ad un inquadramento legislativo specifico che ne garantisce la tutela e la conservazione. Nel presente lavoro, la scala può assumere valori compresi tra 0 ed 1.

- ⇒ E' assegnato Vn = 1, ovvero punteggio pieno alle specie protette inserite in liste sia a livello nazionale sia regionale (ad esempio a livello nazionale nella Lista Rossa Nazionale delle Specie a Rischio ed a livello regionale in apposita legislazione sulla tutela della biodiversità).
- ⇒ E' assegnato Vn = 0.5 per le specie risultanti protette ma inserite soltanto in una delle due liste (o a livello nazionale, o a livello regionale);
- ⇒ Vn = 0 per le specie non protette.
- ⇒ I valori sono stati proposti per l'importanza conservazionistica delle singole specie a scopo dimostrativo, ma essendo lo strumento ki appositamente flessibile, si possono assegnare punteggi diversi al parametro Vn.
- ⇒ E' possibile ampliare o modificare la scala tenendo conto di altre liste come la Direttiva Habitat e la Lista IUCN.

La sommatoria dei ki permette di considerare - ai fini della priorità di realizzazione di passaggi artificiali - tutte le specie presenti nel corso d'acqua in esame, escludendo però quelle indesiderate come le alloctone, per favorire le quali non avrebbe senso

intervenire: infatti per tali specie, essendo = 0 sia M_{ob} che V_n (e quindi k_i), il contributo nella sommatoria è nullo.

Si noti che nell'algoritmo di calcolo degli indici proposti, è implicita l'attribuzione di una scarsa priorità dei passaggi per pesci per le specie protette, ma stanziali, rispetto a quella delle specie con effettive esigenze migratorie: per esse il valore cresce notevolmente arrivando al massimo punteggio nei grandi migratori diadromi²³ che generalmente sono comunque anche protetti.

La scheda, Allegato 2 di pag. 92, riporta i valori del k_i calcolati per le principali specie del territorio della provincia. In particolare, il parametro V_n è assegnato a seconda dell'appartenenza alle liste: "*Lista Rossa Nazionale delle Specie a Rischio*" (Zerunian, 2004).

L'elenco è ovviamente aggiornabile e comunque adattabile al contesto ambientale ed alle zone ittiche in cui si collocano gli interventi.

²³ Specie di pesci che migrano tra acque salate e acque dolci. La migrazione ittica è un fenomeno che vede molte specie di pesci migrare regolarmente, alcune volte per il cibo (migrazioni trofiche) altre volte per la riproduzione (migrazioni genetiche); in alcuni casi la ragione della migrazione è sconosciuta.

Allegato 1

PENDENZA E COMPOSIZIONE DEL SUBSTRATO FLUVIALE

La granulometria dei materiali dell'alveo è in relazione con i processi erosione/sedimentazione legati alla velocità del flusso idrico e quindi alla pendenza dell'alveo stesso. Forneris ed altri (2005), hanno proposto una semplificazione del sistema classificativo dei *clasti* dei sedimenti (vedi tab.5). E' difficile proporre relazioni semplici e dirette tra composizione del substrato/pendenza e tipologie ambientali definite sulla base delle cenosi acquatiche, a meno di prevedere schemi a maglie molto grandi in grado di fornire risultati utili ma insufficienti, da soli, a caratterizzare un ecosistema fluviale; essi vanno considerati con cautela e confrontati con altri parametri, compresi quelli sopra descritti.

Individuato un tratto fluviale sufficientemente esteso e rappresentativo, si procede con una valutazione (stima) delle percentuali delle classi granulometriche presenti in alveo; si individua, sul diagramma di Fig., l'ambito più simile a quello rilevato, per ricavare le tipologie ambientali verificandone la corrispondenza con i relativi valori di pendenza. Nei casi di presenza di sola *pelite* o accompagnata da minori percentuali di sabbia, l'unica tipologia possibile è quella ciprinicola (C); in assenza di granulometrie inferiori alla roccia in posto e massi, la tipologia possibile è quella alpina (A). In altri casi si possono associare più di una zona ittica. Con abbondanza di ghiaia, accompagnata da banchi di sabbia, sono possibili le zone S, M (più probabile) ed anche C; una pendenza $K < 3 \%$ può escludere la zona S; nel caso di un grande bacino è più probabile la zona C.

Classificazione delle categorie granulometriche utilizzata nella letteratura geomorfologica			
classificazione dei grani	dimensioni dei grani		velocità corrente (cm/s)
ghiaia con massi	> 256		molto rapida (> 100)
ghiaia con ciottoli grossolani	64 ÷ 256		rapida (61 ÷ 100)
ghiaia con ciottoli medi	4 ÷ 64		moderata (31 ÷ 60)
ghiaia con ciottoli piccoli	2 ÷ 4		
sabbia molto grossolana	1 ÷ 2		lenta (6 ÷ 30)
sabbia grossolana	0.5 ÷ 1	1/2 ÷ 1/1	
sabbia media	0.25 ÷ 0.5	1/4 ÷ 1/2	
sabbia fine	0.125 ÷ 0.25	1/8 ÷ 1/4	
sabbia molto fine	0.0625 ÷ 0.125	1/16 ÷ 1/8	
silt grossolano	0.0312 ÷ 0.625	1/32 ÷ 1/16	molto lenta (0 ÷ 5)
silt medio	0.0156 ÷ 0.0312	1/64 ÷ 1/32	
silt fine	0.0078 ÷ 0.0156	1/128 ÷ 1/64	
silt molto fine	0.0039 ÷ 0.078	1/256 ÷ 1/128	
argilla	< 0.078	< 1/256	

Classificazione semplificata delle categorie granulometriche proposta da Forneris et al. (2005)		
Al	argille/limo o pelite	Grani di dimensioni inferiori a 0.1 mm
Sb	sabbia	Grani di dimensioni 0.1 ÷ 2 mm
Gf	ghiaia fine	Grani di dimensioni 2 ÷ 60 mm
Gg	ghiaia grossolana	Grani di dimensioni 6 ÷ 25 cm
Gs	massi	Grani di dimensioni 25 ÷ 100cm
Ms	grandi massi	Massi di dimensioni superiori al metro
Rc	roccia in posto	Banchi di roccia non frammentata

Allegato 2

CALCOLO DEL COEFF. K PER LE PRINCIPALI SPECIE DELLA PROVINCIA DI CUNEO

Nome scientifico	nome volgare	Mob	Vn	ki
Anguilla anguilla	Anguilla	5	1	36
Barbus meridionalis	Barbo canino	4	1	25
Barbus plebejus	Barbo comune, Barb	4	1	25
Cyprinus Carpio	Carpa	3	0	9
Leuciscus cephalus	Cavedano, Quajas	4	0.5	20.25
Esox lucius	Luccio	3	1	16
Lepomis gibbosus	Persico sole			
Tinca tinca	Tinca, Tenca	3	0.5	12.25
Salmo trutta	Trota fario	4	0.5	20.25
Leuciscus souffia	Vairone, Stri	4	1	25
Chondrostoma genei	Lasca	4	1	25
Micropterus salmoides	Persico trota	3	0	9
Thymallus thymallus	Temolo			
Micropterus salmoides	Sanguinerola			
Salmo gairdneri	Trota iridea			
Salmo trutta marmoratus	Trota marmorata			
Cottus gobio	Scazzone, Botta	2	1	9
Scardinius erythrorhthalmus	Scardola	2	0.5	6.25
Acipenser sturio	Storione			
Alburnus alburnus alborella	Arborella	2	0.5	6.25
Ictalurus melas	Pesce gatto	0	0	0
Carassius auratus	Carassio			
Cobitis Taenia	Cobite comune	2	0.5	6.25
Aci sturio	Storione comune			
Cyprinus carpio	Carpa specchio	3	0	9
Salvellinus fontinalis	Salmerino di fonte			
Gobio gobio	Gobione	2	1	9
Perca fluviatilis	Persico reale	0	0	0
Rutilus erythrophthalmus	Triotto	2	0.5	6.25
Lampetra fluviatilis	Lampreda di fiume	5	1	36

Allegato 3

ELENCO - PER COMUNE - DEI DIRITTI ESCLUSIVI DI PESCA ESISTENTI AI SENSI DEL T.U. DELLA PESCA DEL 16/04/1931 IN PROVINCIA DI CUNEO.

Comuni	corso d'acqua	estremi del titolo	Gestori
Bastia Mondovì	Fiume Tanaro lungo tutto il territorio comunale	D.M. Ministero Agricoltura e Foreste, 01/08/1927	Ass. Pesca Sportiva "Il Mulino" e F.I.P.S.A.S.
Boves	Torr. Colla, dalle sorgenti a valle fino al ponte del Meniot	D.M. Ministero Agricoltura e Foreste, 14/09/1955	Comune di Boves
Cartignano	Tutte le acque scorrenti nel territorio comunale	D.M. Ministero Agricoltura e Foreste, 03/05/1930. Cessione del Diritto alla F.I.P.S.A.S. 11/07/1972	F.I.P.S.A.S. di Cuneo
Centallo	Torrente Grana e Fiume Stura scorrenti nel territorio comunale	D.M. Ministero Economia Nazionale, 22/11/1926 a favore del Comune di Centallo	Ass. Pescatori Centallesi
Dronero	Torr. Maira e Rii Moschieres e Piosasco scorrenti nel territorio comunale	D.M. Ministero Economia Nazionale, 22/11/1926 a favore del Comune di Dronero	Ass. Sportivi Pescatori di Dronero
Chiusa Pesio	Torr. Pesio dalle sorgenti a valle del territorio comunale sino al confine con Pianfei	D.M. Ministero Economia Nazionale, 06/06/1927 a favore del Comune di Chiusa Pesio	Riserva di Pesca "V. Pesio" e Riserva Sociale di Pesca
Entracque			
Frabosa Sottana			
Frabosa Soprana			
FariglianoLequio Tanaro			
Monchiero			
San Damiano Macra			
Ormea			
Valdieri			
Vernante	Tutte le acque scorrenti nel territorio comunale	D.M. Ministero Agricoltura e Foreste, 26/03/1930	F.I.P.S.A.S. di Cuneo Ass. Pesca Sportiva Dilettantistica Valle Grande, Vernante

Bibliografia consultata

Compagnie Nationale du Rhône, Agence de l'Eau Adour Garonne
 "Guide Technique pour la CONCEPTION des PASSES "NATURELLES"
 Rapport GHAAPE RA.06.05-V1, Décembre 2006
 M. Larinier, D. Courret, P. Gomes.
 CEMAGREF Institut de Mécanique des Fluides

Direction de l'Infrastructure, de l'Eau et de l'Environnement
 "Guide passes à poissons".
 Centre d'Études Technique Maritimes et Fluviales

Expertise Conception des ouvrages de franchissement
 "Passes à poissons"
 M. Larinier, J.P. Porcher, F. Travade, C. Gosset. 1994.

Bassin Rhône Méditerranée Corse
 "GUIDE TECHNIQUE N°4"
 Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière. Février 2001

Confédération Suisse
 "Migration du poisson vers l'amont et vers l'aval à la hauteur des ouvrages hydroélectriques".
 Publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne 2012

Regione Toscana – Direzione Generale Sviluppo Economico Settore politiche Agroambientali, attività Faunistica-Venatorio e Pesca.
 "LINEE GUIDA per la progettazione, valutazione tecnica e pianificazione di PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI", Firenze gennaio 2009.
 Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale

Provincia di Bergamo, Assessorato Agricoltura, Caccia e Pesca, Servizio Faunistico Ambientale
 "I PASSAGGI ARTIFICIALI PER LA RISALITA DEI PESCI. Principi di ecologia fluviale e indicazioni progettuali".
 G.R.A.I.A. Bergamo

Provincia di Modena
 "LINEE GUIDA PER IL CORRETTO APPROCCIO METODOLOGICO ALLA PROGETTAZIONE DEI PASSAGGI PER PESCI"
 Dipartimenti di Ingegneria Agraria Forestale e di Ingegneria del Territorio dell'Ambiente e delle Geotecnologie. Modena, 2006

Gruppo Italcementi Group Italgem
 "Realizzazione di passaggi artificiali per la risalita dell'ittiofauna sul torrente Gesso e Vermenagna- sbarramenti Italgem in comune di Roccavione".

Progetto esecutivo, Cuneo dicembre 2009.

Regione Emilia Romagna, Provincia di Modena
 “*Progettazione di passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi*”.
 Atti del Seminario Tecnico Regionale di Modena, dicembre 1984

Giuseppe Benini
 “*Sistemazioni idraulico-forestali*”.
 UTET Scienze Forestali e Ambientali, Torino 1990

Mario di Fidio
 “*Architettura del paesaggio*”.
 Pirola Editore. Milano, 1983

Guido Badino, Gilberto Forneris, Gian Carlo Perosino
 “*ECOLOGIA DEI FIUMI E DEI LAGHI*”.
 Regione Piemonte. Torino, 1991

Regione del Veneto
 “*MANUALE PER LA GESTIONE AMBIENTALE DEI CORSI D’ACQUA*”.
 Azienda Regionale Veneto Agricoltura

Regione Piemonte
 “*Piano regionale per la tutela e la conservazione degli ambienti acquatici e della fauna acquatica e l’esercizio della pesca*”.
 Direzione Agricoltura, Settore Caccia e Pesca. Torino, 2008

Regione Lombardia, Assessorato all’Agricoltura
 “*INTERVENTI IDRAULICI ITTIOCOMPATIBILI: LINEE GUIDA*”.
 G.R.A.I.A. Quaderni di Ricerca

Provincia di Cuneo
 “*Progetto di tutela e recupero del temolo nel Fiume Stura di Demonte*”.
 GRAIA S.r.l. 2001

Provincia di Cuneo
 “*Progetto di tutela e recupero del temolo nei corsi d’acqua della provincia di Cuneo*”.
 GRAIA S.r.l. 2002

Provincia di Cuneo
 “*Linee guida per la gestione dei salmonidi nelle acque della provincia di Cuneo*”.
 GRAIA S.r.l. 2005

Provincia di Cuneo

“Linee guida la gestione della fauna ittica e degli ecosistemi fluviali in provincia di Cuneo”.

GRAIA S.r.l. Ivan Borroni e Sergio Costagli, 2006.

Provincia di Cuneo

“Studio sul bacino del Torrente Maira e del Torrente Grana - Mellea”.

BIOPROGRAM s.c.r.l. Cuneo, 2004

Regione Piemonte

“PROPOSTA DI LINEE GUIDA PER LA PREDISPOSIZIONE DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEI PRELIEVI IDRICI DA CORSI D’ACQUA NATURALI”.

Direzione Pianificazione delle Risorse idriche. Torino, 2001

Pini Prato

“Descrittori per interventi di ripristino della continuità fluviale: indici di Priorità di Intervento”.

Biologia Ambientale, 2007

Loi Mop

“Guide à l’intention des maîtres d’ouvrages publics pour la négociation des remunerations de maîtrise d’oeuvre”.

Les éditions des Journaux Officiel, septembre 2002.