

Soluzioni tecniche che consentono la discesa dei fiumi da parte della fauna ittica

Introduzione

Le popolazioni ittiche dipendono strettamente dalle caratteristiche dei loro *habitat* acquatici che ne supportano le funzioni biologiche. Durante le principali fasi del ciclo vitale, che sono la riproduzione, la crescita e la maturazione sessuale, le specie migratrici, come lo sono i salmonidi e le anguille, hanno bisogno di ecosistemi acquatici molto differenti. Queste fasi principali, infatti, avvengono in parte in acque dolci ed in parte in acque salmastre.

La presenza di sbarramenti lungo i corsi d'acqua può impedire o ritardare le migrazioni verso monte, contribuendo in modo decisivo al declino ed alla successiva estinzione delle specie che hanno nel movimento longitudinale lungo il *continuum* fluviale, la loro caratteristica principale. Anche la mortalità associata al passaggio attraverso le turbine o sopra gli sfioratori superficiali risulta spesso rilevante e trascurata. A questo bisogna aggiungere la perdita o l'alterazione di molti *habitat* naturali, il cambiamento della qualità delle acque, della sua temperatura, del regime delle portate e l'aumento dei predatori. Senza dimenticare la pesca intensiva che avviene nei mari.

Per porre rimedio almeno in parte a questa situazione, in tutto il mondo si sono studiate, sviluppate ed applicate tecnologie

per la realizzazione di dispositivi chiamati "passaggi per pesci". Con l'introduzione della nuova linea guida europea in materia di tutela e qualità delle acque (2000/60/CE), recepita in Italia da alcuni mesi, tutti gli Stati europei sono obbligati e sollecitati ad intervenire con misure concrete per garantire alla fauna acquatica presente, ma anche potenziale, delle condizioni adeguate alle loro necessità. La possibilità di superare gli sbarramenti verso monte e verso valle diventa una priorità assoluta. Questo articolo si pone l'obiettivo di fare il punto sulle tecniche adottate a livello mondiale, in particolar modo sulla costa orientale degli Stati Uniti, nella costruzione di passaggi per pesci; approfondendo un argomento che solo negli ultimi anni ha trovato una giusta valorizzazione: la problematica delle migrazioni verso valle, che troppo spesso è stata indebitamente trascurata.

I risultati del presente lavoro hanno dimostrato come sia necessario, al fine di ottimizzare il funzionamento dei passaggi per pesci, proseguire nello studio del comportamento delle specie ittiche e proteggere le aree naturali potenzialmente adatte alla riproduzione.

Tutti gli sforzi effettuati lungo le aste principali dei fiumi saranno però inutili, se non accompagnati da politiche internazionali restrittive, ed allo stesso tempo di controllo, sulla pesca in mare aperto.

Fauna ittica

Gli spostamenti verso valle della fauna ittica sono osservabili durante vari stadi di sviluppo di molte specie ittiche. In particolar modo, il fenomeno denominato *drifting*, inteso come trasporto passivo grazie alla forza della corrente, è sfruttato nelle prime fasi di vita come strategia di movimento verso valle dalle specie olobiotiche¹ (PÁVLÓV *et al.*, 2002). Anche giovani migratori delle specie potamotiche², come i salmoni nello stadio di vita denominato parr, tendono a sfruttare le portate liquide per i loro spostamenti verso il mare. Mentre le lampre di mare e di fiume dopo essersi riprodotte muoiono, le specie potamotiche, come i salmoni, solitamente hanno la possibilità di riprodursi in seguito iniziando nuovamente un ciclo di migrazioni. Questo non succede sempre, ma dipende dalla fatica che il singolo animale ha dovuto sostenere per raggiungere gli *habitat* riproduttivi. Le anguille intraprendono degli spostamenti durante i primi stadi di vita, ma in modo molto consistente dopo aver raggiunto la maturità ed aver passato tra i 7 ed i 15 anni in acqua dolce. La loro lunghezza media raggiunge circa 65 cm, ma gli esemplari femminili possono arrivare a misurare anche 90 cm, mentre i maschi adulti in alcuni casi migrano verso valle misurando 30 cm (BRUIJS *et al.*, 2003). Obiettivo comune: raggiungere il Mar dei Sargassi e riprodursi.

Un ulteriore fattore di notevole importanza, è quello temporale. Il *timing* delle migrazioni verso valle è strettamente legato a fattori abiotici che caratterizzano l'ecosistema acquatico, come il regime delle portate e la temperatura dell'acqua. La fauna ittica reagisce al persistere di determinate condizioni ambientali preparandosi agli spostamenti verso valle. Una volta raggiunto lo stadio adatto per migrare, ogni specie ittica attenderà un preciso segnale per dare inizio al suo viaggio. Qualora questo segna-

le non giunga, il pesce può aspettare anche per svariati mesi. Per questo motivo, stesse specie, che però si trovano in bacini con caratteristiche ambientali differenti, possono migrare in periodi diversi, ed anche di anno in anno i tempi non sono sempre gli stessi. Esiste inoltre una gerarchia tra i diversi fattori scatenanti gli spostamenti a valle. Qualora il fattore principale venga a mancare, sarà un altro, che solitamente è collegato, a sostituirlo. Così per esempio l'aumento primaverile delle portate, può essere sostituito dall'aumento della temperatura dell'acqua. Gli esatti rapporti di singole specie ittiche nei confronti degli svariati parametri ambientali sono ancora oggetto di studi. Pare però accertato, che la portata e la temperatura dell'acqua sono i due fattori dominanti, mentre l'influenza delle fasi lunari è ancora dibattuta.

Una portata tendenzialmente in aumento, senza peraltro dover raggiungere determinati valori medi, consente ad ogni pesce uno spostamento verso valle senza spreco di energie (fig. 1).

Grazie all'elevata torbidità dell'acqua, che solitamente accompagna questo evento, è garantito inoltre un certo riparo da possibili predatori. Tra le specie che sfruttano questo cambiamento idraulico, vi sono i salmoni in fase *smolt* e le anguille adulte (SCHWEVERS, 1998).

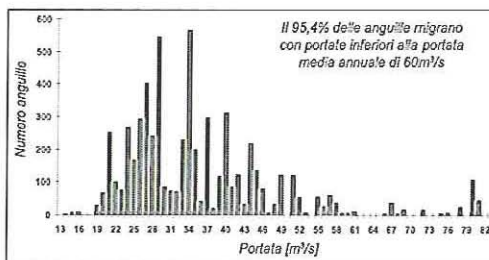


Fig. 1 - Rapporto tra anguille pescate con nassa di controllo nel fiume Fulda(D) e livello delle portate [ATV-DVWK, 2004].

¹ Specie che migrano esclusivamente all'interno di acque dolci (specie *potamodromous*).

² Specie che migrano tra acque dolci (riproduzione) ed acque salmastre (crescita) (specie *anadromous*).

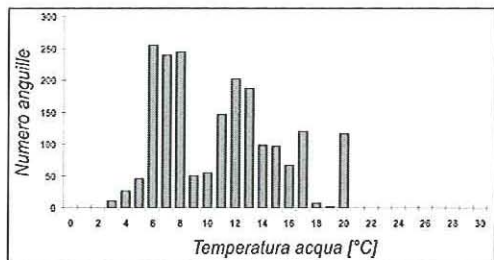


Fig. 2 - Rapporto tra anguille pescate con nassa di controllo nel fiume Fulda (D) e temperatura dell'acqua [ATV-DVWK, 2004].

Per quanto riguarda l'influenza della temperatura, è importante chiarire che essa agisce spesso come parametro limitante, oltre che scatenante. Se la temperatura scende sotto a determinati valori di riferimento (6°C per le anguille), qualunque migrazione è resa impossibile (fig. 2).

Quando invece, per un certo corso d'acqua, la stagione delle piene non coincide con il periodo migratorio delle singole specie ittiche, sarà proprio la temperatura il fattore determinante. Questo accade per esempio in fiumi del Nord-Europa, dove lo scioglimento della neve inizia solo in estate (JONSSON, 1991).

Ostacoli presenti in alveo

La maggior parte delle tecnologie e tecniche applicate a garantire il passaggio verso valle della fauna ittica riguardano i giovani salmonidi (nello stadio di vita denominato *smolts*) e le anguille adulte, che sono le due specie maggiormente colpite dalla costruzione di sbarramenti in alveo. Questi ostacoli possono essere rappresentati da dighe (fisse e mobili), briglie, soglie e dalle opere di derivazione. Le popolazioni ittiche sono colpite da alta mortalità durante il passaggio attraverso le turbine degli impianti idroelettrici o lungo gli scarichi di superficie. Inoltre, le dighe causano un aumento della predazione a monte ed a valle della stessa, perché la fauna ittica viene ritardata negli spostamenti e cerca una via per superare l'ostacolo, non potendo allo stesso tem-

po fare attenzione ai numerosi predatori, sia di tipo acquatico, che volatili.

Osservando e studiando le diverse forme di comportamento è risultato che le migrazioni verso valle avvengono normalmente in corrispondenza dei picchi di portata. Tesch (1994) ha potuto verificare, grazie a rilevamenti telemetrici, questo comportamento da parte delle anguille. Solo qualora tutta la portata defluisca esclusivamente dalle turbine, gli animali si posizionano davanti alle loro bocche d'ingresso. Qualora invece anche le paratoie sono aperte, i pesci si distribuiscono lungo l'intera lunghezza dello sbarramento.

I giovani salmoni preferiscono muoversi in prossimità della superficie dell'acqua e per questo motivo i dispositivi che ne consentono il passaggio in caso di sbarramenti orizzontali lungo l'alveo, sono posizionati nella parte alta del tirante idrico. La presenza delle anguille invece, dopo prime ipotesi che ne individuavano le aree di spostamento come in prossimità del fondo, dopo recenti valutazioni è invece emerso che la loro presenza è distribuita lungo tutto il tirante idrico (HARO, 2000).

In acque correnti, le specie ittiche si dispongono in verso opposto alla corrente, adattando la loro velocità di nuoto alla forza della corrente stessa. L'orientamento natatorio avviene grazie a stimoli visivi e tattili. Nei primi stadi di vita prevale l'orientamento visivo, ed è per questo motivo che durante le ore notturne molti giovani pesci subiscono passivamente l'effetto *drifting*.

In generale, è possibile affermare che le migrazioni verso valle non avvengono mai in modo continuativo e costante, ma sono sempre intervallate da momenti di riposo in zone a corrente calma o di nuoto passivo (FÄNGSTAM, 1993).

Aspetti tecnici

La costruzione di dispositivi che agevolano (p.es: by-pass in presenza di impianti idroelettrici) e proteggono (p.es.: griglie in presenza di opere di presa) i pesci mi-

gratori durante gli spostamenti verso valle necessitano di soluzioni particolari, strettamente legate all'area geografica, al tipo di sbarramento, alle condizioni idrauliche ed al comportamento delle specie ittiche. Per questo motivo a livello mondiale sono stati sviluppati molti procedimenti, senza però trovare delle soluzioni generali applicabili su vasta scala in differenti continenti e funzionali per una moltitudine di specie. Molte tecniche messe in pratica su fiumi americani non sono state ancora sperimentate su corsi d'acqua europei. Secondo Eicher (1970) sarebbe necessario studiare a fondo per prima cosa i comportamenti delle specie ittiche e testare in seguito, in laboratorio, dei modelli in scala per vedere la loro applicabilità a condizioni reali. Secondo Hanson (1977) la prima valutazione da fare è quella sulla reale necessità d'esistenza di uno sbarramento o di un'opera di presa. Nel caso di centrali termiche è, infatti, possibile evitare l'impiego di grandi portate d'acqua prelevate dai fiumi, semplicemente realizzando un ciclo chiuso che sfrutta un reintegro minimo di liquido a causa del vapore disperso. In questo modo è possibile evitare l'installazione di grandi manufatti di derivazione in alveo, che rappresenta un pericolo per tutta la fauna acquatica.

Volendo suddividere le varie tipologie di dispositivi di protezione ed agevolazione delle migrazioni verso valle è possibile differenziare tra diverse categorie:

- le barriere meccaniche, che evitano l'ingresso fisico dei pesci nelle turbine e nelle opere di presa;
- le barriere comportamentali, che grazie alle reazioni provocate sul singolo animale, evitano il suo ingresso nelle turbine e nelle opere di presa;
- sistemi di raccolta e convogliamento verso precisi manufatti che consentono il passaggio verso valle;
- by-pass, che consentono al pesce di superare indenne un ostacolo;
- sistemi di cattura e successivo trasporto via gomma o via fiume oltre gli ostacoli;

- sistemi dinamici di gestione di opere di sbarramento, che grazie all'apertura delle paratoie o degli scarichi della diga in determinati periodi di migrazioni, concedono un'altra via di passaggio;
- l'uso di turbine a bassa mortalità (in fase di sperimentazione);
- la combinazione di diverse tecniche elencate precedentemente;
- il posizionamento di opere di prese in aree a bassa concentrazione ittica.

A differenza delle scale per pesci che consentono la risalita dei fiumi con sbarramenti lungo l'asta principale, che altrimenti sarebbero insuperabili, privando allo stesso tempo la fauna acquatica di habitat adatti alla riproduzione, i passaggi per pesci concepiti per agevolare la discesa dei fiumi non sono l'unica via che consente di superare gli ostacoli. Infatti, le migrazioni avvengono anche in assenza di questi dispositivi: le specie migratrici (pesci talassotici³ e potamotici) ed olobiotiche che scendono lungo un corso d'acqua possono superare gli sbarramenti passando attraverso le turbine, oppure sfruttando gli scarichi superficiali delle dighe. Anche qualora vi siano delle briglie o delle soglie con salti non eccessivi, non si riscontrano problemi nella discesa.

Le differenze tra i due tipi di passaggi per pesci (risalita e discesa) sono quindi notevoli, e questo fa sì, che quasi in nessun caso un manufatto costruito allo scopo di favorire la risalita sia "recepito" dalla fauna ittica ed utilizzato per la discesa. Solo la portata che defluisce in un impianto di discesa, può al limite essere sfruttata come corrente d'attrazione in prossimità dello sbocco a valle.

Il funzionamento di un impianto di discesa è raggiunto, quando si realizzano gli obiettivi ecologici richiesti dalla normativa europea in materia di qualità e difesa delle acque: la presenza di tutte le specie ittiche potenziali, in quante più classi d'età possibili.

La costruzione di tali impianti è richiesta in particolar modo in aree dove le migrazioni verso valle vanno regolarmente incontro ad alti tassi di mortalità. Quindi

³ Specie che migrano tra acque dolci (crescita) ed acque salmastre (riproduzione) (specie *catadromous*).

in un contesto di sbarramenti con impianti idroelettrici (turbine), dighe con scaricatori di superficie che impongono salti da notevoli altezze ed opere di derivazione con impiego diretto dell'acqua asportata all'alveo. Visti gli alti costi di questi manufatti, ed il solitamente ristrettissimo numero di specie target (specie che potranno sistematicamente sfruttare il dispositivo di discesa), prima di un'eventuale progettazione, bisogna valutare attentamente se la fauna acquatica, anche potenziale, che popola il bacino di monte abbia reale bisogno di un intervento di tipo antropico per il suo sostentamento. Nel caso di dighe molto alte, a questo scopo è molto utile affrontare delle campagne di monitoraggio a valle dell'ostacolo (osservando i danni subiti dai singoli pesci) e definire con attenzione la popolazione del bacino di monte. Se non vi fosse presenza di anguille e gli habitat preclusi non fossero adatti a specie potamotiche sarebbe economicamente svantaggioso, oltre che biologicamente ed ecologicamente ingiustificato, intervenire.

A causa delle loro grandi dimensioni, in corsi d'acqua europei, l'anguilla adulta è certamente tra le specie a maggior rischio d'estinzione se non s'interviene in modo deciso. Anche i giovani salmoni hanno grandi difficoltà nel superare i tantissimi ostacoli durante le migrazioni verso il mare, ma viste le loro ridotte dimensioni, rispetto all'anguilla il passaggio nelle turbine ha un'incidenza sulla mortalità più ridotto, anche se non trascurabile. Gli *smolts* soffrono invece a causa del rallentamento della corrente in prossimità di bacini artificiali, che li costringe a sforzi fisici supplementari, e dove contemporaneamente subiscono molti attacchi da parte di predatori. La stessa cosa accade a valle di sbarramenti a causa del disorientamento che segue l'attraversamento di turbine o scaricatori di superficie delle dighe.

Nel caso d'opere di presa deve essere garantita la protezione di tutte le taglie di pesci, perché spesso i sistemi di filtraggio o la successiva aggiunta di sostanze chimiche non lasciano molte possibilità di sopravvivenza alla fauna acquatica.

Tipologie d'impianto

Esistono molte tipologie d'impianto che aiutano e proteggono la fauna ittica durante le migrazioni o gli spostamenti verso aree che si trovano maggiormente a valle. Oltre a barriere meccaniche e comportamentali vengono spesso applicate delle combinazioni di sistemi. Queste soluzioni hanno fino ad oggi avuto i risultati migliori.

Quando si parla di barriere bisogna differenziare tra barriere meccaniche e barriere comportamentali. Le prime hanno lo scopo di evitare l'introduzione di pesci in zone pericolose impedendo loro il passaggio dal punto di vista fisico. Le barriere comportamentali, che prevedono in alcuni casi anche lo sfruttamento di barriere meccaniche come deterrente, cercano di influenzare il comportamento della fauna ittica inducendola ad evitare certe zone e privilegiandone altre, dove normalmente è posizionato il passaggio per pesci.

Barriere meccaniche

Dispositivi meccanici sono impiegati davanti ai condotti di convogliamento delle centrali idroelettriche, delle opere di derivazione e di presa. Possono essere costituite da griglie, setacci o lastre forate di latta. Il loro scopo principale è di impedire in qualunque modo il passaggio di pesci. Per questo motivo le aperture sono molto piccole e vanno continuamente incontro ad inconvenienti come otturazioni da parte del materiale trasportato dalla corrente o a causa del ghiaccio. Sono quindi indispensabili gli sgrigliatori o altri meccanismi di pulitura manuale o automatica.

La presenza di barriere meccaniche comporta una perdita di carico che si ripercuote sulla produzione di corrente elettrica delle turbine. Per minimizzare queste perdite è necessario aumentare le aperture e ridurre contemporaneamente la velocità della corrente. Questo è possibile anche aumentando la superficie della barriera e posizionandola con una certa inclinazione rispetto al fondo o rispetto alla corrente.

Nel caso di griglie convenzionali, l'inte-

rasse delle barre dipende solitamente dalla costruzione e dalle dimensioni delle turbine o delle pompe. Queste devono essere preservate dal materiale grossolano trasportato dalla corrente. Ad una girante di minor diametro corrisponde un minore interspazio tra barre della griglia.

Una particolare tipologia di barriere meccaniche è denominata *Louver*. Si tratta di una griglia posizionata con una certa inclinazione rispetto alla sezione orizzontale della corrente che ha come ulteriore caratteristica principale l'uso di lamelle posizionate ortogonalmente rispetto alla corrente. Questo comporta delle grandi perdite di carico ma causa anche una cosiddetta onda ferma nella parte antecedente. I pesci sono in grado di recepire questo fenomeno e reagiscono in maniera diversa, a seconda della specie. Questa reazione può essere sfruttata per indirizzarli verso un sistema a *by-pass* che li conduce verso valle in piena sicurezza (fig. 3).

L'interasse tra lamelle è di 20 fino a 50mm ed è usuale inserire delle lamiere supplementari per rendere la corrente più regolare prima di entrare nel canale di convogliamento. Il sistema a *Louver* con annesso *by-pass* viene impiegato con successo per giovani salmoni. Le forti perdite idrauliche devono essere compensate da una corrente che non supera 1m/s di velocità ed è strettamente necessaria l'installazione di un raschiatore di pulizia. Per un funzionamento efficace Bates & Visonhaler (1957) consigliano un'inclinazione rispetto alla corrente compresa tra 10 e 20°, solitamente 15°. L'interasse tra lamelle deve essere adattato alle specie che si intende guidare verso il passaggio per pesci. Secondo Travade &

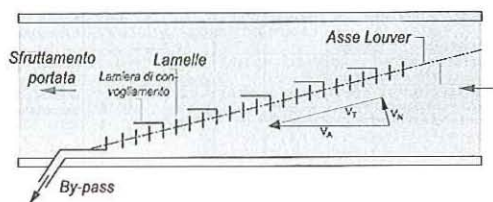


Fig. 3 - Schema di una griglia del tipo *Louver* [ATV-DVWK, 2004].

Larinier (1992) valori tra 5 e 15cm risultano accettabili. L'ultima osservazione riguarda le velocità che si devono sviluppare in corrispondenza dell'imbocco del canale di *by-pass*: devono essere molto maggiori rispetto alla corrente del bacino artificiale.

Test di laboratorio hanno dimostrato la completa inefficacia di questi dispositivi nei confronti delle anguille, mentre osservazioni *in situ* hanno confermato la sua effettività rispetto a trote di mare, salmoni e spigole macchiate.

La ricerca di dispositivi ancora più efficaci ed in grado di ridurre le perdite di carico ha portato negli Stati Uniti allo sviluppo della griglia denominata *Wedge Wire Screen*. Si tratta di una serie di barre in acciaio inox a forma di cuneo, un prisma a sezione triangolare terminante con uno spigolo arrotondato, posizionate con interassi molto ridotti una accanto all'altra fino a formare una griglia vera e propria (fig. 4).

Il primo dispositivo di questo tipo venne reso operativo presso la centrale idroelettrica di Willamette Falls (Oregon, USA). Grazie al materiale impiegato ed agli interassi che possono arrivare fino ad 1 mm, il rischio di ferimento è molto basso ed anche la fauna acquatica più piccola viene respinta. D'altro canto, vista l'esposizione areale alla corrente, la sua stabilità deve essere assicurata da una struttura supplementare, che nel caso d'impianti già esistenti risulta molto costosa. Una soluzione alternativa consiste nel disporre questa griglia inclinata rispetto alla corrente. Il rischio d'otturazione è minore rispetto a griglie convenzionali, grazie alla forma allargata delle barre nella parte terminale che tende a consentire un dilavamento del materiale rimasto inca-

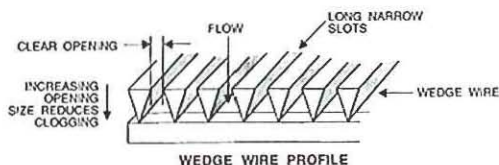


Fig. 4 - Schema di un *Wedge-Wire-Screen* [www.dfo-mpo.gc.ca].

strato tra le barre. Bisogna però aggiungere che la maggioranza delle prove sono state effettuate su fiumi americani, storicamente caratterizzati da basse quantità di trasporto solido. Alcuni impianti pilota (con interasse 5 mm) studiati su fiumi secondari tedeschi hanno dimostrato, che per evitare eccessive perdite di carico dovute ad intasamento da alghe ed altri materiali, la frequenza di pulitura deve essere tre volte maggiore rispetto ad una griglia normale (con interasse di 20 mm) (DUMONT, 2000).

Oltre a griglie fisse, esistono però anche dispositivi mobili, come ad esempio i *Travelling Screens*. Si tratta di macchine chiamate comunemente anche setacci a nastro, sfruttando una tecnica nota già da tempo: un nastro (può essere di materiale plastico) con diversi fori o fessure di alcuni millimetri: ruota semi-immerso intorno a due tamburi ($v=0,1-5\text{m/min}$). Un ugello ad alta pressione pulisce la parte superiore del nastro, mentre la parte inferiore è lavata in controcorrente dalla portata stessa (fig. 5).

Questi impianti sono impermeabili per la fauna ittica, ma rappresentano un rischio per la loro incolumità. Se la velocità della corrente è troppo alta i pesci potrebbero essere schiacciati e successivamente trasportati al di fuori dell'acqua, con mortalità elevate. Anche l'ugello che lavora con pressioni da 4,0 a 6,0 bar può causare gran-

di danni su giovani popolamenti. Per ridurre il rischio di ripetute cadute dal nastro è possibile fissarvi delle madie, una specie di cestelli che garantiscono ai pesci che vi finiscono la presenza di acqua anche al di fuori dal canale. Una volta superato il tamburo superiore, i contenitori sono svuotati in una canaletta, che potrebbe anche essere un by-pass, che li riporta in zone sicure. La riduzione della pressione agli ugelli fino ad 1bar può incidere positivamente sul livello di sopravvivenza. Il problema del materiale solido trasportato dalla corrente è risolvibile inclinando il nastro e facendolo dunque cadere in dei contenitori. I costi di gestione e manutenzione sono alti a causa delle innumerevoli parti meccaniche.

L'ultima barriera meccanica che si vuole presentare è il *Drum Screen*, o tamburo rotante. Dal punto di vista funzionale questo dispositivo assomiglia molto al *Travelling Screen* visto in precedenza, anche se vi sono alcune importanti differenze dal punto di vista costruttivo. Innanzitutto, al posto del materiale plastico flessibile è previsto l'impiego di materiale rigido: filo d'acciaio a maglia fine, barre curve del tipo *Wedge Wire Screen* o lamiera forata. Il rullo, immerso per circa il 70-80% del suo diametro, ruota sul suo asse a velocità molto ridotte ed il materiale galleggiante che si attacca dal lato del canale viene dilavato in contro-

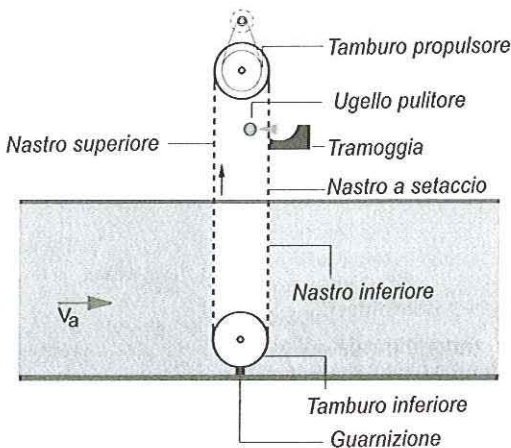


Fig. 5 - Schema di un impianto a *Travelling Screens*; impianto in posizione inclinata in azione su un canale di derivazione per un allevamento ittico francese [ATV-DVWK, 2004].

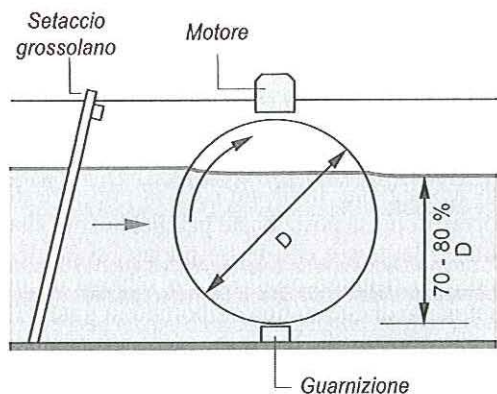


Fig. 6 - Schema di un Drum Screen [TAFT, 1986].

corrente sul lato opposto. Davanti al rullo è solitamente inserito un setaccio grossolano (fig. 6).

I diametri dipendono dai regimi delle portate, variando da 0,8 fino a 6,0 m. Le maglie dipendono dalle specie ittiche presenti nel corso d'acqua e variano solitamente da 3,0 a 6,0 mm. La mortalità dei giovani pesci è minima per valori della velocità normale fino a 0,3 m/s, mentre aumenta considerevolmente a partire da valori di 0,5 m/s (HADDERINGH, 1978).

A seconda della disposizione rispetto alla corrente il materiale trasportato viene fatto defluire in direzione tangenziale, oppure tramite i tamburi direttamente verso valle.

L'utilizzo di queste unità è raro in Europa, mentre è molto frequente in presenza di opere di presa o derivazione negli Stati Uniti.

Barriere comportamentali

Le barriere comportamentali cercano di condizionare il comportamento delle specie ittiche, indirizzandole in prossimità dei passaggi per pesci o delle canalette *by-pass*.

Perciò i pesci devono essere prima intorpiditi e poi attirati o incanalati in certe direzioni. Le tecniche usate sono le seguenti:

- muri di bolle d'aria o di getti d'acqua;
- campi elettrici;
- luce;
- onde sonore o di pressione;
- combinazioni di metodi elencati in precedenza.

L'uso di barriere comportamentali è attrattivo in particolar modo dal punto di vista economico, perché rispetto alle barriere meccaniche i costi di manutenzione e pulizia sono molto minori. Per questo motivo, in molte società commerciali sono stati sviluppati sistemi ottici, acustici, elettrici ed idrodinamici con lo scopo di influenzare il comportamento dei singoli pesci.

Questi dispositivi sono però soggetti ad altri problemi, come può essere l'indice di torbidità dell'acqua, la velocità e la temperatura della corrente in prossimità della barriera. Inoltre, è stato dimostrato che barriere comportamentali funzionano bene, quando i pesci non si trovano in periodi migrativi. In quest'ultimo caso, infatti, la fauna acquatica è portata a seguire le correnti a maggiore intensità e difficilmente, giunta nei pressi di uno sbarramento con impianto idroelettrico, non è attratta dai canali di convogliamento delle turbine, oppure allo stesso tempo, distratta da una barriera comportamentale.

Il funzionamento di barriere comportamentali è stato fin'ora raramente studiato in laboratori scientifici. È quindi necessario che questo avvenga al più presto, tenendo presente, che i pesci immessi in una canaletta sperimentale non si trovano in una fase di ciclo biologico particolare, reagendo quindi in modo alquanto diverso a stimoli di qualunque tipo (ATV-DVWK, 2004).

Dei muri artificiali di bolle d'aria, o di acqua, che fuoriescono da un tubo forato posizionato sul fondale di una vasca sono stati sperimentati con successi solo parziali dall'US Bureau of Commercial Fisheries. Inizialmente, la reazione dei pesci sembra avvenire, ma con il passare del tempo, interviene un forte grado d'adattamento e la barriera perde la sua efficacia. Bisogna poi considerare che i fori tendono facilmente ad otturarsi, ed i costi di gestione (che comprendono il consumo d'energia elettrica per produrre i getti di bolle d'aria o acqua) sono molto alti. Da queste poche considerazioni si evince che barriere di questo tipo non sono fino ad ora state impiegate con successo.

L'impiego di barriere di tipo elettrico si basa sulla disposizione in alveo di elettrodi che creano un campo elettromagnetico. La

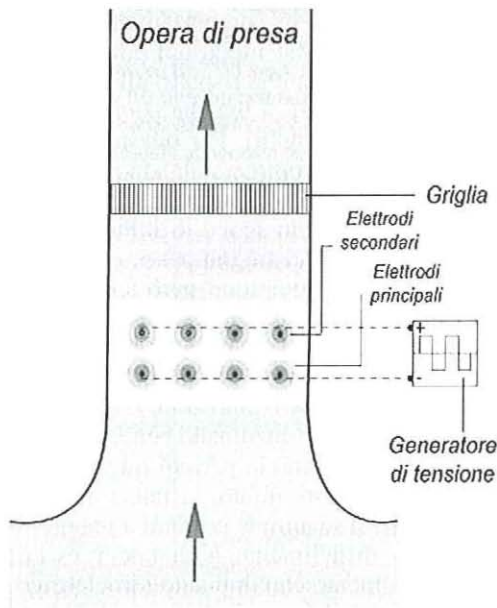


Fig. 7 - Barriera comportamentale di tipo elettrico posizionata in corrispondenza di un'opera di presa [ATV-DVWK, 2004].

differenza di potenziale viene recepita dal pesce in base alla sua lunghezza ed all'intensità del campo. L'animale è colpito da una scarica di corrente e reagisce fisiologicamente in due modi diversi: in prossimità dell'anodo viene attratto, mentre scappa dal catodo. In contemporanea vicinanza di anodo e catodo il pesce subisce invece una narcotizzazione che perdura fino allo spegnimento del campo elettrico. La pesca "gal-

vano-narcotizzante" sfrutta proprio questo principio.

Studi effettuati in USA, Francia, Olanda e Canada hanno però evidenziato una capacità di influenzare il comportamento ittico non soddisfacente e sono di conseguenza state sconsigliate. In alcuni casi, in presenza di opere di presa posizionate parallelamente alla linea d'argine e con basse portate, si è ottenuto un risultato migliore. Lo schema di un impianto di questo tipo è riportato in figura 7.

L'utilizzo di barriere comportamentali ottiche sfruttano la sensibilità della fauna ittica nei confronti di sorgenti luminose. Con una corretta disposizione in alveo di lampade (del tipo fluorescente o a vapore di mercurio) è possibile raggiungere buoni risultati. Per influenzare i giovani salmoni, esse devono trovarsi vicino alla superficie e funzionare ad intermittenza.

Devono invece trovarsi vicino al fondo e funzionare in modo continuo per influire sul comportamento delle anguille (fig. 8).

Barriere comportamentali con emissione di onde sonore con frequenza compresa tra 20 e 500Hz sono attualmente in uso in due dispositivi denominati Sound Projector Array (SPA) e Bio-Acoustic Fish Fence (BAFF®). Questi emettitori di suoni hanno avuto buoni riscontri *in situ*, sia negli Stati Uniti, che in Europa. Non tutte le specie ittiche reagiscono in maniera uguale a stimoli acustici, ma l'impiego di tali barriere sembra offrire delle buone opportunità d'impiego anche in futuro.

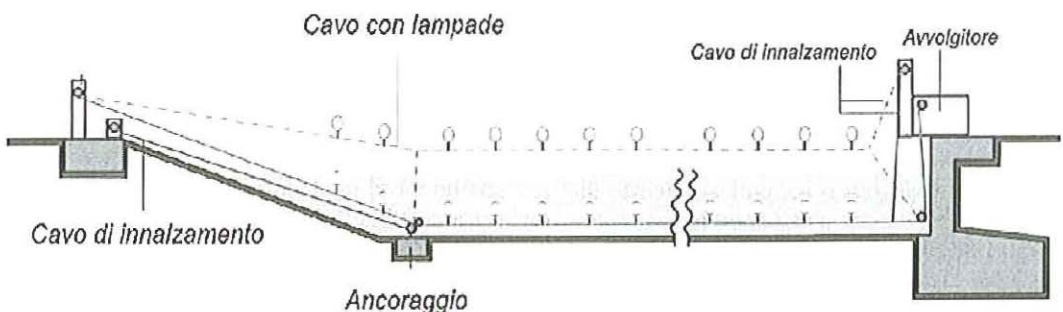


Fig. 8 - Barriera comportamentale di tipo luminoso [ATV-DVWK, 2004].

By-pass

In presenza di sbarramenti, affinché sia consentito alla fauna ittica un superamento dell'ostacolo senza subire ferite, è necessario disporre delle vie alternative alle turbine ed agli sfioratori superficiali. Questi manufatti, che possono essere concepiti con tecniche molto diverse, sono chiamati *by-pass*. Solitamente si tratta di canali a pelo libero o tubazioni che collegano il bacino di monte con il fiume a valle. Il passaggio da monte verso valle può però avvenire in parte casualmente anche grazie a:

- paratoie aperte;
- sfioratori o scaricatori di superficie;
- scarichi di fondo;
- chiuse;
- scale di risalita per pesci.

Il funzionamento di un *by-pass* è strettamente legato alla posizione dell'imbocco e dalle condizioni idrauliche che si stabiliscono al suo interno. Ogni dispositivo deve essere concepito per una singola specie, come potrebbero essere i giovani salmonidi diretti verso il mare. In caso contrario, l'efficienza potrebbe essere molto bassa per tutta la fauna ittica.

Le esperienze accumulate sulla costa orientale degli Stati Uniti con i giovani salmoni del pacifico, ma anche sulla costa occidentale e, più recentemente in Francia, con i giovani salmonidi dell'atlantico, hanno permesso di implementare tecnologie molto funzionanti. Queste prevedono la costruzione di *by-pass* superficiali, quindi

in corrispondenza della superficie del bacino di ritenuta a contatto con lo sbarramento, proprio perché adatte a giovani salmoni che preferiscono nuotare nelle parti alte del tirante idrico. Lo sfruttamento di questi passaggi da parte di altre specie risulterà di conseguenza casuale. Si possono quindi distinguere *by-pass*:

- di superficie, adatti per *smolts* (giovani salmonidi);
- di fondo, adatti per anguille.

La maggior parte degli studi attuali si concentrano sull'obiettivo di favorire le specie migratrici, che includono specie potamotiche (salmonidi) e specie talassotiche (anguille). L'imbocco di un *by-pass* superficiale deve misurare tra 0,5 e 1,0 m in larghezza ed essere provvisto di una paratia di regolazione della portata. La profondità dell'acqua nel *by-pass* è consigliata di almeno 0,4 m, ed in caso si disponga solo di basse portate, è sempre meglio privilegiare la profondità alla larghezza (TRAVADE, LARINIER, 1992). Stando alle esperienze maturate in Francia, la portata dedicata al passaggio può essere scelta in percentuale rispetto alla portata turbinata: dal 2 al 10%. Clay (1995) indica in 1% la portata necessaria per grandi sbarramenti e posizioni del canale di *by-pass* in corrispondenza delle griglie. La posizione dell'ingresso deve trovarsi in un punto facilmente rintracciabile da parte dei pesci. Solitamente si scelgono i lati delle aree influenzate dalle turbine (fig. 9). Si può anche scegliere un imbocco che si adegua automaticamente al tirante di monte, rendendolo galleggiante (fig. 10).

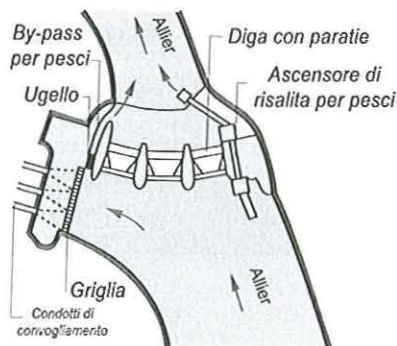


Fig. 9 - Posizionamento del *by-pass* presso lo sbarramento di Poutès sul fiume Allier (F) [Bomassi & Travade].

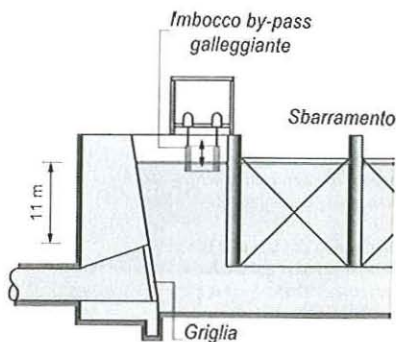


Fig. 10 - Imbocco galleggiante del *by-pass* presso lo sbarramento di Poutès sul fiume Allier (F) [LARINIER, 1991a].

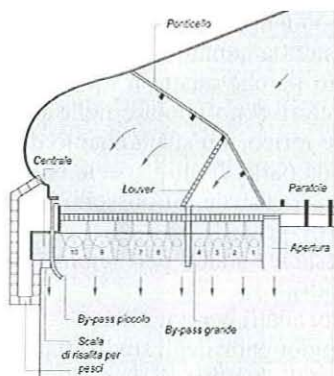


Fig. 11 - *By-pass* e *Louver* presso la centrale idroelettrica di Vernon Dam sul Connecticut River (USA).

Le velocità nel *by-pass* devono sempre aumentare durante il percorso, in modo tale da trasportare i giovani salmoni verso valle in maniera passiva. Questo può avvenire progettando l'imbocco a forma d'imbuto e prevedendo nella sua zona antecedente delle lastre orizzontali sistemate leggermente sotto il bordo inferiore, in modo tale da proteggere l'area d'ingresso dalle correnti *upwelling* provenienti dal basso.

Per evitare una reazione negativa (barriera meccanica) da parte dei pesci, si rinuncia ad anteporre all'imbocco una griglia, tenendo però presente, che tutto il materiale galleggiante potrà immettersi nel *by-pass* (ODEH, 1999). Le velocità massime nel canale o nel tubo non devono mai superare i 12 m/s, onde evitare il ferimento dei pesci (TRAVADE, LARINIER, 1992). I raggi di curva-

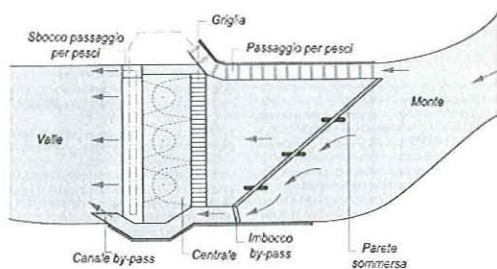


Fig. 13 - *By-pass* presso l'opera di derivazione della centrale idroelettrica di Weeles Falls (USA).

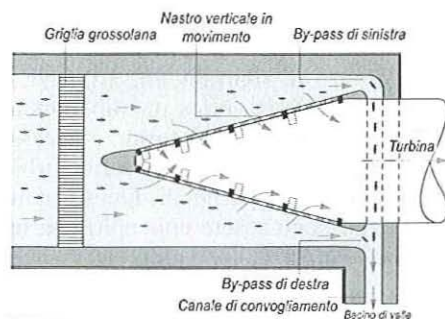


Fig. 12 - *By-pass* e parete sommersa presso la centrale idroelettrica di Bellows Falls sul Connecticut River (USA) [ODEH & ORVIS, 1998]

tura consigliati sono sopra i 3 m (TURNPENNY *et al.*, 1998). Questo deve perciò essere progettato per poter far defluire anche il materiale grossolano. Il *by-pass* non deve essere scabro o contenere ostacoli.

Per quanto riguarda lo sbocco a valle, questo deve trovarsi preferibilmente in posizione orizzontale, a 1,8 fino a 2,4 m al di sopra del livello d'acqua, affinché i pesci non subiscano brusche decelerazioni (ODEH, ORVIS, 1998). L'ASCE (1995) indica in 7-8 m/s i valori accettabili delle velocità della corrente nei pressi dello sbocco nel bacino di valle. Al fine di evitare effetti di predazione da parte di altri pesci o di volatili in prossimità dello sbocco, è possibile posizionare l'uscita molto a valle rispetto allo sbarramento e predisporre una leggera pioggia artificiale. Alcuni esempi di *by-pass* (abbi-

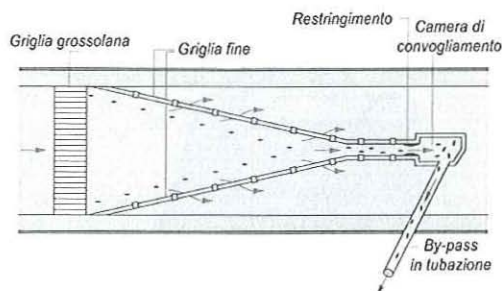


Fig. 14 - *By-pass* presso un'opera di derivazione sul fiume White River (USA).

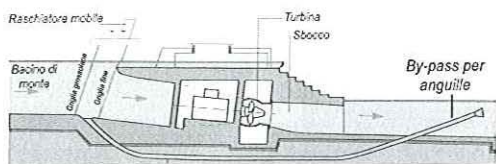


Fig. 15 - *By-pass* per anguille presso la centrale idroelettrica di Hamm-Uentrop sul fiume Lippe (D) [ATV-DVWK, 2004].

nati anche a barriere meccaniche) installati presso sbarramenti ed opere di derivazione, sono riportati nelle figure 11, 12, 13, 14 [ATV-DVWK, 2004].

Sistemi di *by-pass* per specie che preferiscono nuotare vicino ai fondali sono state costruite su molti fiumi europei ed americani. Non è però stata ancora trovata una soluzione universalmente valida. Come principio sono pensabili soluzioni con tubature che collegano il fondale del bacino di monte con il fondale del bacino di valle (fig. 15). Si sono dimostrate molto efficienti anche in esperimenti di laboratorio con griglie inclinate e una canaletta di convogliamento nella parte terminale superiore della stessa griglia.

Nel caso d'impianti idroelettrici che sfruttano condotte di convogliamento in pressione è possibile adottare delle griglie particolari chiamate *Eicher-Screens*. Si tratta di griglie composte da barre del tipo *Wedge Wire Screen* con interasse $d < 2,0$ mm inserite nella condotta con una inclinazione di 20° rispetto alla corrente. Avendo una velocità della corrente di 1,5 m/s si genererà sulle barre una componente normale di 0,5 m/s ed una componente tangenziale di 1,4 m/s. Proprio quest'ultima sarà sfruttata per trascinare i pesci verso un canale di *by-pass* ed in seguito verso valle. Grazie alla regolazione dinamica dell'inclinazione rispetto alla corrente l'*Eicher-Screen* può anche essere pulito. Lo schema di funzionamento è riportato in figura 16.

Un'evoluzione dell'*Eicher-Screen* è rappresentata dal *Modular-Inclined-Screen* (MIS), sviluppato dall'Electronic Power Research Institute (EPRI). Il principio di funzionamento rimane lo stesso, ma l'applicazione

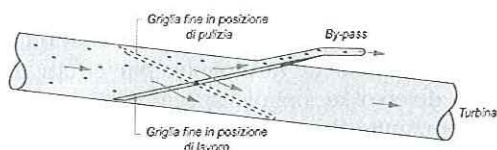


Fig. 16 - Schema di funzionamento di un *Eicher Screen* [ATV-DVWK, 2004].

avviene su centrali idroelettriche ad acqua fluente con canali di convogliamento a sezione rettangolare. Si sfrutta la velocità tangenziale (con velocità totali di 3 m/s) sul *Wedge Wire Screen* inclinato ($10-20^\circ$) per incanalare i pesci verso un *by-pass* situato alla fine della griglia.

Trasporto pesci

Con il termine americano *trap and truck* si intende la consuetudine diffusa su alcuni fiumi americani, ma da alcuni anni anche su fiumi francesi, di catturare i pesci e trasportarli verso valle. In particolar modo lungo fiumi con una successione di sbarramenti questa misura si è rilevata efficace. Una scelta continuativa come questa è però giustificata dal punto di vista economico, solo in presenza di specie acquatiche di alto valore come lo sono i salmoni del pacifico e dell'atlantico. Il trasporto può avvenire su gomma (camion) o su barche (fig. 17).



Fig. 17 - Camion impiegato per il trasporto verso valle (per 200 km) di giovani salmoni atlantici lungo il fiume Garonne (F) [SCHWEVERS, U.].

Turbine a basso impatto

L'impatto delle turbine sulla fauna ittica è spesso causa di alti tassi di mortalità. Ogni modello di turbina ha poi effetti di tipo diverso su singole specie. Con la collaborazione di produttori, biologi e gestori di impianti idroelettrici è stato possibile avviare delle ricerche nel campo delle turbine a basso impatto. Gli alti gradi di rendimento raggiunti dalle moderne turbine, comportano in caso di cambiamenti costruttivi delle perdite d'efficienza. Consapevoli di questo, gli studiosi hanno eseguito molte prove ed osservazioni sul campo, definendo infine alcuni punti importanti (CADA *et al.*, 1997):

- ad una diminuzione delle pale, e quindi dei bordi delle stesse, sulla girante, segue una diminuzione della possibilità di contatto con il pesce;
- aumentando la distanza tra i singoli componenti che formano una turbina si formano aree maggiori a disposizione dei pesci;
- un arrotondamento del bordo della palettatura porta sicuri benefici alla fauna ittica;
- la riduzione della velocità di rotazione della girante, abbassa il rischio di collisioni e ferimenti;
- lo sviluppo di turbine che attirano il pesce verso la parte interna della girante, dove le velocità sono minori, abbassa molto il rischio di ferimenti;
- riduzione di distanza tra parti mobili e fisse;
- tutte le parti costruttive, come il convogliatore e lo sbocco, devono essere sempre lisce;
- la gestione delle turbine deve essere ottimale e rispettosa di certi periodi di migrazioni;
- con l'impiego di palettature d'ultima generazione è possibile evitare alti gradi di cavitazione.

Negli anni '90 il dipartimento dell'energia americano (US Department of energy) lanciò un programma con il titolo: "Advanced Hydropower Turbine Systems Program", allo scopo di sviluppare delle turbine a basso impatto sulla fauna ittica. L'intento principale era di ridurre, grazie

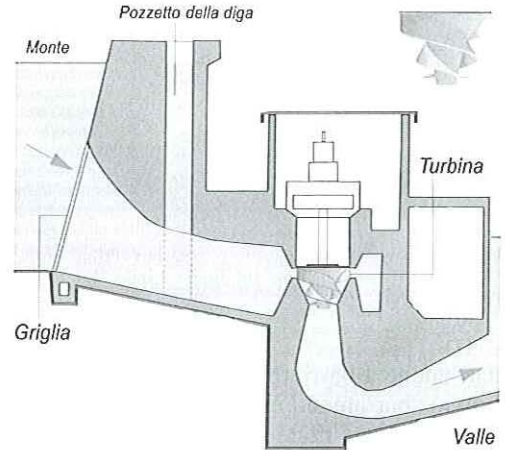


Fig. 18 - Turbina a basso impatto della ditta NREC [HECKER *et al.*, 1997].

ad interventi sulla geometria della turbina, la cavitazione, le repentine diminuzioni di pressione, la turbolenza, con gli associati effetti abrasivi, e le fessure (SCHILLING *et al.*, 2000). Sviluppata dalla collaborazione delle ditte Voith Hydro e Siemens, il risultato fu il "Minimal Gap Runner" (MG-Runner): una turbina nota oggi in Germania con lo pseudonimo di "fischschonende Turbine" - turbina a basso impatto sulla fauna ittica. Anche nel grande impianto di Bonneville sul fiume Columbia è stata installata questa tipologia. I riscontri sono ottimi quando il grado di carico sulla turbina si trova sotto a quello massimo di circa l'1%. La produzione elettrica chiaramente ne risente.

Una nuova serie di studi ha portato alla produzione di un prototipo della turbina a spirale (fig. 18).

Questa è stata sviluppata sempre negli Stati Uniti da una collaborazione dell'Alden Research Laboratory Inc. e la Northern Research and Engineering Corp. (Cook *et al.*, 1997). La girante è composta da due sole pale, la cui lunghezza, che si estende a forma di spirale, è un multiplo della loro larghezza. Da calcoli su modelli, risulta un grado di efficienza del 90% con livelli di mortalità inferiori ad 1,5% (HECKER *et al.*, 1997). Ci si trova quindi al di sotto dei gradi di efficienza di turbine Kaplan che possono raggiungere anche il 94%.

Un suo impiego in condizioni reali è immaginabile soltanto in contemporanea presenza di altre turbine convenzionali, a causa della necessità di lavorare sempre a massimo carico. Così uno scenario futuro prevedrebbe l'impiego esclusivamente di turbine a spirale in condizioni di portate medio-basse, con l'impiego complementare di altre turbine per periodi con portate superiori.

Conclusioni

Dal punto di vista strettamente ingegneristico è possibile affermare che i progressi maggiori nel campo dei dispositivi di protezione ed aiuto per la fauna ittica nelle migrazioni verso valle sono avvenuti in Nord America, mentre in Europa non è ancora percepita come reale problematica da dover affrontare. Se si aggiunge anche la sempre attuale necessità di continuare a studiare i comportamenti delle singole specie, si potrebbe affermare che il futuro nella ricerca in questo campo sarà denso di lavoro.

Negli Stati Uniti è di gran moda associare ai salmoni la questione "Four Hs", intesa come le quattro uguali iniziali dei fattori che maggiormente influenzano la loro presenza:

- Hydropower (Centrali idroelettriche);
- Habitat (Perdita di habitat naturali);
- Hatchery (Allevamenti);
- Harvest (Pesca intensiva).

La presenza anche in futuro di specie ittiche migratrici di grande valore storico ed economico nei sistemi fluviali mondiali, non può prescindere da una soluzione concordata internazionalmente, che preveda un nuovo equilibrio tra questi quattro fattori destabilizzanti.

Solo con un intervento di questo tipo anche le soluzioni tecniche lungo le aste dei fiumi troveranno una loro giustificazione a medio-lungo termine.

dott. Paolo Berti

Ingegnere ambientale
libero professionista,
e-mail: paolo.berti@tin.it

BIBLIOGRAFIA

ASCE (American Society of Civil Engineers), 1995 - *Guidelines for design of intakes for hydroelectric plants*. New York.

ATV - DVWK, 2004 - *Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle*. ATV-DVWK-Arbeitsgruppe WW-8.1. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: 256 p.f

BATES, D.W., VINSONHALER, R., 1957 - *Use of louver for guiding fish*. Trans. Am. Fish. Soc. 86: 38-57.

BRUIJS, M.C., WINTER, H.V., SCHWEVERS, U., DUMONT, U., 2003 - *Management of silver eel: Human impact on downstream migrating eel in the river Meuse*. Kema-Report: 105 p.

CADA, G.F., COUTANT, C.C., WHITNEY, R.R., 1997 - *Development of biological criteria for the design of advanced hydropower turbines*. Idaho Falls (U.S. Dep. For Energy, Idaho Operation Office): 85p.

CLAY, C. H., 1995 - *Design of fishway and other fish facilities (second edition)*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press Publisher.

COOK, T.C., HECKER, G.E., FAULKNER, H.B., JANSEN, W., 1997 - *Development of a more fish tolerant turbine runner*. Idaho Falls (Alden Research Laboratory Report 13 - 97 / M 63 F): 172p.

EICHER, J., 1970 - *Fish passage: protection of downstream migrants*. Hydro review: 95-99.

FÄNGSTAM, H., 1993 - *Individual downstream swimming speed during the natural smolting period among young of Baltic salmon*. Can. J. Zool. 71:1782-1786 p.

HADDERINGH, R.H., 1978 - *Mortality of young fish in the cooling water system of Bergum power station*. Proc. Int. Ass. Of Theoretical and Applied Limnology 20 (Kopenhagen, 7 - 14.8.1977): 1822 - 1836.

HANSON, C.H., WHITE, J.R., LI, H.W., 1977 - *Entrapment and impingement of fishes by power plant cooling-water intakes: an overview*. Marine Fish. Rev. 77/10: 7.17.

HARO, A., 2000 - *Downstream Movement and Passage of Silver Eel Phase American Eel in the Connecticut Mainstream*. Vortragsmanuskript - Turners Falls/Ma,USA.

HECKER, G.E., COOK, T.C., JANSEN, W., 1997 - *A new fish-friendly turbine runner*. Proc. of the internat. Conference on Hydropower, Waterpower '97: 383 - 391.

JONSSON, N., 1991 - *Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers*. Nordic J. Freshw. Res.: 66, 20-35.

LARINIER, M., 1991a - *La dévalaison des smolts de saumon Atlantique au barrage de Poutès sur l'Allier*. (43): utilisation de lampes a vapeur de mercure. Bull. Fr. Pêche Piscic. 323: 129 - 148.

LARINIER, M., TRAVADE, F., 2002 - *Downstream migration: problems and facilities*. Bull. Fr. Pêche et Pisciculture 364 suppl., 181-205.

ODEH, M., 1999 - *Innovations in Fish Passage Technology*. Bethesda/Md, USA (Am. Fishery Soc.).

ODEH, M., ORVIS, C., 1998 - *Downstream fish passage design considerations and developments on hydroelectric projects in the north-east USA*, in Jungwirth, M. et al. (ed.): *Fish migration and fish bypasses*, Fishing News Books, Oxford, UK: Backwall Science Ltd Publisher.

PAVLOV, D. S., LUPANDIN, A. I., KOSTIN, V. V., 2002 - *Downstream migration of fish through dams of hydroelectric power plants*. Oak Ridge/Tennessee (Oak Ridge National Laboratory), 249 p.

SCHILLING, R., STEIN, H., STROBL, H., 2000 - *Fischfreundliche Turbinen; Num. Simulation des Fischdurchganges durch Wasserturbinen. Tagungsunterlagen zur Informations- und Presseveranstaltung „Fischschäden an Wasserkraftwerken“ am 13.10.2003 in Oberrach*. München (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten).

SCHWEVERS, U., 1998 - *Die Biologie der Fischabwanderung*. Solingen (Verlag Natur & Wissenschaft), Bibliothek Natur und Wissenschaft 11: 84p.

TAFT, E.P., GARNETT, G., AMARAL, S., 1999 - *Fish protection at cooling water intakes*. Status Report, EPRI TR - 114013, Palo Alto / Ca.

TESCH, F. W., 1994 - *Verfolgung von Blankaalen in Weser und Elbe*. *Fischökologie* 7: 47-59 p.

TRAVADE, F., LARINIER, M., 1992 - *La migration de dévalaison: problèmes et dispositifs*. *Bull. Fr. Pêche et Pisciculture* 326/327: 165-176.

TURNPENNY, A.W.H., STRUTHERS, G., HANSON, K.P., 1998 - *A UK guide to intake fish-screening regulations, policy and the best practice*. London (Crown copyright): 127 p.

Riassunto

Per agevolare le migrazioni della fauna ittica lungo le aste dei fiumi, in particolare modo di quelli che presentano una moltitudine di sbarramenti orizzontali di vario tipo, c'è bisogno di dispositivi idraulici progettati proprio per superare questi ostacoli. Mentre per la risalita dei fiumi molto è già stato fatto, la problematica della discesa rimane aperta, benché esistano esempi funzionanti di impianti negli U.S.A. Accanto a barriere fisiche e comportamentali che evitano l'ingresso dei pesci nelle turbine, indirizzandoli invece verso dei canali bye-pass, esistono anche delle soluzioni alternative che prevedono turbine a basso impatto o dei sistemi di trasporto con mezzi navali o su gomma.

Summary

In order to preserve fish migration in rivers, especially in rivers with many horizontal obstructions like dams or hydropower systems, very different types of hydraulic constructions are required. Whereas for migrants in the upstream direction very much has been done, the opposite occurred with the important matter related to the down-

stream migration, though some projects deal successfully with this problem in the U.S. In addition to physical and behaviour barriers, which avoid the entrance of fishes into the turbines, guiding them to a bye-pass channel of different types, also special fish friendly turbines have been tested and fish transportation measures are practiced.