



LIFEEL

LIFE19 NAT/IT/000851

Misure urgenti nel Mediterraneo Orientale per la conservazione a lungo termine dell'anguilla europea (*Anguilla anguilla*)



ACTION A4 Analisi e linee guida per favorire la discesa al mare nel bacino del Po
Sistema dissuasivo presso la diga di Creva (VA)

PROGETTO DEFINITIVO- ESECUTIVO

Data revisione:	Indice revisione:	Natura della modifica:
Dicembre 2021	00	Prima emissione

Titolo elaborato:

Relazione tecnica generale

Ns. Rif.	Data	Scala	Dim. foglio
20S30	Dicembre 2021	--	A4

DIRETTORE TECNICO:

Dott. Ing. Massimo Sartorelli

PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Massimo Sartorelli



Address: Via Repubblica 1 - 21020 - Varano Borghi (VA)

Tel: +39 0332.961097

Mail to: info@graia.eu - graia@pec.it

Redazione
Ing. Beniamino Barengi, Geom. Elisa Tresoldi

Verifica
Dott. Ing. Massimo Sartorelli



Elaborato n°
001.DE.GE.EG_00

Timbro e firma:



Approvazione
Dott. Ing. Massimo Sartorelli



SOMMARIO

PREMESSA	3
1 IL PROGETTO LIFEEL.....	4
1.1 LO STATO DI CONSERVAZIONE DELL'ANGUILLA EUROPEA.....	4
1.2 OBIETTIVI DEL PROGETTO	5
1.3 LE AREE INTERESSATE DA LIFEEL	5
1.4 GLI ATTORI DI LIFEEL.....	6
1.5 LE AZIONI DI PROGETTO	6
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	7
2.1 IL FIUME TRESA.....	7
2.2 LA DIGA DI CREVA	8
2.3 VINCOLI AMBIENTALI E PAESAGGISTICI	9
3 EFFETTI DELLE TURBINE SULLE ANGUILLE E POSSIBILI SOLUZIONI PROPOSTE DALLA LETTERATURA DI SETTORE	10
3.1 EFFETTI DELLE TURBINE SULL'ANGUILLA	10
3.1.1 Introduzione al tema	10
3.1.2 Turbine "fish-friendly"	12
3.2 POSSIBILI SOLUZIONI PER RIDURRE LA MORTALITÀ.....	15
3.2.1 Barriere fisiche.....	15
3.2.2 Barriere comportamentali e metodi di guidance	19
4 ELEMENTI CONOSCITIVI A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE	24
4.1 CRITERI GENERALI PER LA PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI DISSUASORI	24
4.2 INDICAZIONI TECNICHE SPECIFICHE PER LA REALIZZAZIONE DI BARRIERE COMPORTAMENTALI A LED	26
5 GLI INTERVENTI IN PROGETTO PRESSO L'OPERA DI PRESA DELLA DIGA DI CREVA	27
5.1 CARATTERISTICHE GENERALI	27
5.2 LE FASI DI REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTI	29
5.2.1 Fase 1 – Forniture.....	30
5.2.2 Fase 2 – Ispezioni preliminari	30
5.2.3 Fase 3 - Assemblaggio delle parti in officina	31
5.2.4 Fase 4 - Test in officina	31
5.2.5 Fase 5 - Montaggio corpi illuminanti	31
5.2.6 Fase 6 - Montaggio quadro elettrico e cablaggi	31
5.2.7 Fase 7 - Test finale.....	31



LIFEEL - LIFE19NAT/IT/000851

**MISURE URGENTI NEL MEDITERRANEO ORIENTALE PER LA CONSERVAZIONE
A LUNGO TERMINE DELL'ANGUILLA EUROPEA (ANGUILLA ANGUILLA)**

**AZIONE A4: ANALISI E LINEE GUIDA PER FAVORIRE LA DISCESA AL MARE NEL
BACINO DEL PO - SISTEMA DISSUASIVO PRESSO LA DIGA DI CREVA (VA)**



5.3	SPECIFICHE TECNICHE DELLE PARTI CHE COMPONGO L'IMPIANTO IN PROGETTO	32
5.3.1	Corpi illuminanti	32
5.3.2	Cavidotti e impianto elettrico	32
5.3.3	Quadro elettrico e sistema di controllo	33
5.4	CONSIDERAZIONI SULLA CANTIERIZZAZIONE, SULLA SICUREZZA E SULLE INTERFERENZE CON L'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO IDROELETTRICO	34
6	OCCUPAZIONE DI AREE E AUTORIZZAZIONI NECESSARIE	35
7	QUADRO ECONOMICO DI SPESA	36



PREMESSA

La progettazione degli interventi di conservazione, descritti in questo elaborato, costituisce parte dell'Azione A.3 del **Progetto Life Natura "LIFEEL" LIFE19NAT/IT/000851**, "*Urgent measures in eastern Mediterranean for the long term conservation on endangered European Eel*", progetto cofinanziato dall'Unione europea, il cui capofila è rappresentato dalla Regione Lombardia con il partenariato di Regione Emilia-Romagna, Parco Delta del Po Veneto, Parco Delta del Po Emiliano, Parco Lombardo della Valle del Ticino, Università di Bologna e di Ferrara e la società Graia S.r.l.

L'**Azione** di Progetto **A4** (*Analysis of the Po basin permeability to downstream migration of silver eels and assessment of the best deterrent guidance system to prevent their entry into hydro structures*) affronta una delle minacce che affliggono maggiormente tutto lo stock naturale di Anguilla, non solo la popolazione del bacino del Po: la diffusione sul reticolo fluviale di centrali idroelettriche. Le anguille mature, potenziali riproduttori che hanno intrapreso il loro viaggio di discesa dei corsi d'acqua verso il mare, possono imbattersi nelle turbine, se non adeguatamente progettate possono rivelarsi delle vere e proprie trappole mortali per le anguille. Con quest'azione viene realizzata la prima ricognizione sistematica di tutte le centrali idroelettriche presenti sul reticolo di principale d'interesse per l'Anguilla, nel bacino di pianura del fiume Po, arrivando a definire le migliori soluzioni di mitigazioni e dunque le **linee guida per la compatibilizzazione delle strutture idroelettriche con la migrazione in discesa delle anguille argentine (sub-azione A4.1)**. La **sub-azione A4.2** prevede invece la **progettazione di un sistema sperimentale di dissuasione dell'anguilla**, in grado di dissuadere l'anguilla dall'imboccare il canale di adduzione dell'acqua alla centrale idroelettrica.

Il presente documento costituisce la relazione tecnica generale del Progetto Definitivo-Esecutivo per la realizzazione del sistema dissuasivo di cui alla sub-azione A4.2. Il sito target individuato in sede di stesura del progetto LIFEEL è la diga di Creva sul fiume Tresa, emissario del Lago di Lugano e affluente del Lago di Maggiore. La diga e la centrale idroelettrica che utilizza l'acqua invasata è gestita da Enel Green Power Italia, cofinanziatore del progetto LIFEEL, che ha già approvato il progetto, che fornisce ai progettisti tutte le informazioni necessarie alla progettazione e che fornirà il supporto logistico in fase di cantiere e durante l'esercizio del sistema dissuasivo.

Questa relazione contiene:

- ✓ una breve descrizione degli obiettivi del progetto LIFE relativamente agli interventi in oggetto;
- ✓ un inquadramento generale dell'area di intervento ed una descrizione dello stato di fatto dei luoghi;
- ✓ un capitolo bibliografico che analizza il problema degli effetti degli impianti idroelettrici sulla smonta delle anguille e descrive i principali sistemi dissuasivi utilizzabili;
- ✓ un capitolo che descrive l'intervento proposto presso la diga di Creva;
- ✓ un capitolo integrativo dove sono illustrati i contenuti delle relazioni specialistiche allegate al progetto.

A conclusione della relazione tecnica generale è riportato il quadro economico di spesa.



1 IL PROGETTO LIFEEL

1.1 LO STATO DI CONSERVAZIONE DELL'ANGUILLA EUROPEA

L'Anguilla europea (*Anguilla anguilla*) è una specie ormai in via di estinzione in Italia e nel suo intero areale con un decremento del suo stock, dagli anni '80 ad oggi, stimato al 99%. Essa è inserita nelle liste IUCN (International Union for Conservation of Nature) e nelle Liste Rosse dell'Unione Europea come specie "Critically Endangered", cioè ad elevato rischio di estinzione in natura, ed è anche oggetto di uno specifico regolamento di conservazione emanato dalla Comunità Europea (Reg. CE 1100/2007). Tale Regolamento impone ad ogni Stato Membro l'adozione e l'attuazione di un Piano di Gestione Nazionale (PGN) dell'Anguilla – quello italiano è stato approvato nel luglio 2011 – che definisca le migliori misure sito-specifiche di conservazione e gestione di questo straordinario animale.

Per quanto riguarda l'Italia, il PGN risulta oramai sostanzialmente applicato ma la verifica dei suoi progressi, a distanza di diversi anni dalla sua emanazione e nonostante le registrazioni localizzate di miglioramenti misurabili nel breve termine, non ha ancora permesso di rilevare una sostanziale inversione di rotta né a livello dell'emigrazione delle anguille adulte argentine per la riproduzione né tantomeno nel reclutamento naturale dei giovanili.

Occuparsi di conservazione dell'Anguilla non è effettivamente materia semplice, sia per le inevitabili implicazioni socio-economiche dovute al forte interesse commerciale rivestito dalla specie, sia per le caratteristiche biologiche che la rendono davvero eccezionale. Oltre ad essere un animale catadromo (cioè un migratore obbligato che vive e si accresce in acqua dolce e si riproduce in mare), nel suo stadio di riproduttore maturo riconosce come suo unico sito riproduttivo il Mar dei Sargassi, ad est delle Antille, che raggiunge annualmente dopo una traversata transoceanica di migliaia di chilometri. Lo stock europeo di *Anguilla anguilla* è panmittico, dunque considerabile come un'unica grande popolazione, dal momento che tutte le anguille che colonizzano i bacini europei una volta mature raggiungono contemporaneamente il Mar dei Sargassi per riprodursi; inoltre è anche semelparo, cioè si riproduce una sola volta nella vita in tarda età: l'Anguilla muore subito dopo, affidando la perpetuazione della specie alla prole prodotta, con un ricambio generazionale molto lento, nell'ordine dei 15 anni, e con molti stadi vitali e migliaia di chilometri di viaggio da affrontare.

Se da un lato la biologia dell'Anguilla la rende molto vulnerabile alle alterazioni ambientali (agli ostacoli alla migrazione trofica e riproduttiva, alla qualità sia dell'ambiente marino sia di quello d'acqua dolce, ai cambiamenti climatici) che ne comporta il difficile monitoraggio dell'efficacia delle misure di conservazione applicate, dall'altro il suo elevato valore commerciale la espone ad un prelievo e ad uno sfruttamento in acquacoltura che non può essere ignorato o fermato del tutto, come riportato dallo stesso Regolamento CE 1100/2007. Ciò comporta la necessità di adottare misure di gestione e conservazione che siano concretamente efficaci nel salvaguardare la specie, non trascurandone l'importanza per l'acquacoltura e la pesca.



Il fatto che, come in Italia così in tutta Europa, non si registrino a tutt'oggi risultati soddisfacenti in relazione all'obiettivo prefissato del 40% del reclutamento naturale delle ceche (stadio giovanile dell'Anguilla) che, con ogni probabilità si aveva in origine, aumenta l'urgenza di un nuovo approccio al problema della conservazione della specie: un approccio che sia replicabile e trasferibile in tutto l'areale europeo.

LIFEEL è il primo progetto di conservazione dell'Anguilla europea concepito a scala dell'intero bacino del Fiume Po. Finalizzato a mantenere ed incrementare lo stock naturale di *Anguilla Anguilla*, esso risponde alle grandi minacce che affliggono la specie - frammentazione del reticolo idrografico, pressione di pesca sui riproduttori per il consumo umano e sui giovani per l'acquacoltura, disinformazione – con un approccio condiviso e partecipato, e per alcuni aspetti estremamente innovativo.

1.2 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Obiettivo generale di **LIFEEL** è il sostegno al patrimonio di biodiversità del bacino del Fiume Po attraverso la conservazione di una delle specie più emblematiche per il bacino del fiume Po e per tutta Europa: l'Anguilla.

Gli **obiettivi specifici** di progetto sono obiettivi operativi, concepiti in risposta a specifiche minacce:

- La riapertura delle rotte di migrazione per l'Anguilla ed il conseguente recupero dell'areale in quella parte di acque interne che mantengono caratteristiche idonee alla specie. Questo in contrasto alla minaccia ambientale che consiste nella frammentazione del reticolo idrografico interno ed anche come supporto alla mitigazione dell'impatto dovuto al cambiamento climatico.
- La salvaguardia dei soggetti adulti potenziali riproduttori selvatici, dalla pressione di pesca per il consumo o dall'inserimento in acquacoltura, in favore della loro emigrazione e riproduzione naturale.
- Il supporto al reclutamento naturale dei giovanili, in contrasto al prelievo di pesca esercitato su di essi per alimentare il settore dell'anguillicoltura.
- La sensibilizzazione dell'opinione pubblica e degli stakeholder, per contrastare azioni attive o passive realizzate o realizzabili a seguito della mancanza di informazione.

1.3 LE AREE INTERESSATE DA LIFEEL

LIFEEL interessa due aree geografiche ben definite:

1. In Italia esso riguarderà l'area del bacino idrografico del Fiume Po (con particolare riferimento alla porzione di pianura e collinare) e del Delta del Po. Gli interventi concreti diretti sull'ambiente e sulla specie si svolgono sui fiumi Tresa, Ticino, Panaro, Po, e nelle aree del Delta del Po e delle Valli di Comacchio. Qui il progetto coinvolge tre Regioni amministrative - Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna - ed anche la porzione svizzera del bacino del Po estesa nel Canton Ticino, potendo così anche contare sul sostegno finanziario del Cantone all'intero progetto.
2. In Grecia il progetto si focalizzerà sul territorio del Parco Nazionale della Macedonia Orientale e della Tracia, comprendente il bacino del fiume Nestos e un sistema di lagune che rappresenta oltre il 24% delle lagune presenti in Grecia. Le azioni concrete di conservazione riguarderanno proprio il fiume Nestos e le lagune.



1.4 GLI ATTORI DI LIFEEL

LIFEEL è un progetto su scala europea finanziato dal **LIFE Programme** dell'**Unione Europea**, che sostiene il 57% dei costi del progetto. I co-finanziatori del LIFEEL sono:

- Enel Green Power Italia S.r.l.
- Fondazione Cariplo
- Canton Ticino della Confederazione elvetica
- Associazione Italiana Pesca Sportiva e Ricreativa

Il capofila del progetto è la **Regione Lombardia, Direzione Generale Agricoltura, Alimentazione e Sistemi verdi**. I partner di progetto sono infine i seguenti:

- Regione Emilia-Romagna, Direzione Agricoltura, caccia e Pesca
- Parco Delta del Po Veneto
- Parco Delta del Po Emiliano
- Parco Lombardo della Valle del Ticino
- Università di Bologna
- Università degli studi di Ferrara
- Organizzazione ellenica agricola Demeter, che fa parte del Ministero dell'alimentazione e dello sviluppo rurale
- Graia S.r.l.

1.5 LE AZIONI DI PROGETTO

Come tutti i progetti finanziati dallo strumento LIFE della Comunità Europea, anche LIFEEL è strutturato secondo un preciso schema di azioni che comprendono: un pacchetto di azioni preparatorie e propedeutiche alle vere e proprie azioni di conservazione, indicato con la lettera "A"; un pacchetto di azioni, appunto, di conservazione "C", che comprende tutti gli interventi concreti messi in campo dal progetto per la conservazione della specie target Anguilla; un insieme di azioni "D" di monitoraggio dell'efficacia delle azioni di conservazione realizzate dal progetto, per la verifica degli effettivi risultati raggiunti; un gruppo di azioni "E" di divulgazione, educazione e coinvolgimento dei vari gruppi di destinatari e portatori di interesse individuati dal progetto; infine un gruppo "F" di azioni di gestione e coordinamento di tutto il lavoro e del partenariato.

Il presente progetto ricade evidentemente nel gruppo "A", in particolare nell'azione A4: *Analisi e linee guida per favorire la discesa al mare nel bacino del Po - Sistema dissuasivo presso la diga di Creva (Va)*. L'azione A3 è da ritenersi a tutti gli effetti propedeutica all'azione C4, che prevede l'effettiva realizzazione e la messa in esercizio del sistema dissuasivo presso l'opera di presa della diga di Creva.



2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 IL FIUME TRESA

Il Fiume Tresa è l'emissario del Lago di Lugano e, dopo un percorso di circa 13 Km in parte lungo il confine italo-svizzero, sfocia nel Lago Maggiore a Luino (VA). La sua origine dal Ceresio determina un regime idrologico di tipo pluviale, con portate medie annue intorno ai 23 m³/s.

Tale regime idrologico è in realtà alterato in quanto all'incile de Lago di Lugano è presente un'opera di regolazione dei livelli del lago e delle portate scaricate che di fatto altera il regime idrologico naturale del fiume.

Esso rappresenta un importantissimo corridoio ecologico acquatico di collegamento fra due grandi laghi profondi: il Verbano e il Ceresio. I due laghi sono in parte italiani ed in parte elvetici, così come il Fiume Tresa che li collega. Il Ceresio, oltre alla Provincia di Varese e al Canton Ticino, interessa anche la Provincia di Como nel bacino nord.

Tale corridoio ecologico acquatico è stato negli anni interessato dalla costruzione di sbarramenti che lo hanno frammentato, impedendo il libero passaggio della fauna ittica fra i due laghi citati. Questo problema di frammentazione fluviale è stato affrontato dalla Provincia di Varese nel 2002, quando ha predisposto il "PIANO PER IL RIPRISTINO DELLA CONTINUITÀ BIOLOGICA DEI CORPI IDRICI DELLA PROVINCIA DI VARESE", all'interno del quale aveva identificato e caratterizzato le discontinuità di maggior peso gravanti sul reticolo idrico provinciale. I due principali elementi di discontinuità i sul Fiume Tresa sono la diga di Creva e lo sbarramento di Lavena-Ponte Tresa, all'incile di regolazione del Ceresio. Su quest'ultimo, la Provincia di Varese, con un ampio partenariato, ha realizzato un passaggio artificiale per pesci nel 2006 nell'ambito di un Progetto Interreg. Sulla diga di Creva, tra il 2012 e il 2014 è stato realizzato un passaggio per pesci a bacini grazie al quale è stato completamente ripristinato il corridoio ecologico tra i due grandi laghi prealpini.



2.2 LA DIGA DI CREVA

La diga di Creva si trova in comune di Luino (VA), nella frazione di Creva. Essa è facilmente raggiungibile dalla SP61 che collega Lavena Ponte Tresa a Luino, passando per Cremenaga e costeggiando il fiume Tresa.

La diga invasa acqua in un bacino artificiale che risale la valle del Tresa per circa 1,8 km. L'acqua invasata viene derivata verso la centrale idroelettrica di Creva, che scarica poi le acque turbinata nel Fiume Tresa 1 chilometro a valle della diga. Il salto idraulico formato dalla diga varia tra 20 e 25 m in funzione del livello di invaso mantenuto nel bacino.

In prossimità della diga sono presenti le seguenti opere a servizio dell'impianto:

- Opera di presa, ubicata in sponda destra e costituita da due luci alte 15 m e larghe 4 m, dotate di griglia di protezione e paratoia piana di regolazione. A valle delle paratoie, i due luci convergono in un'unica galleria di derivazione che trasporta l'acqua derivata verso la centrale; le due griglie, sono dotate di uno sgrigliatore a pettine automatico appeso ad un binario in acciaio: Sopra l'opera di presa è inoltre presente l'edificio di servizio alla diga che ospita al piano terra il quadro di controllo, il magazzino e il locale trasformatori e, nei due piani superiori, la casa di guardia.
- Lo scarico di superficie, a sinistra, costituito da un pozzo da 5.5 m protetto da una paratoia piana.
- Lo scarico di fondo, sempre in sponda sinistra, a quota 218,75 m s.l.m., che scarica nella stessa galleria in cui confluisce lo scarico di superficie.
- L'imbocco del passaggio per pesci, ubicato nel corpo diga, verso destra, a quota 227,5 m s.l.m.

A valle della diga sono invece presenti le seguenti opere di interesse per il presente progetto:

- centralina idroelettrica sul DMV, posizionata a valle della diga, in posizione centrale;
- passaggio per la risalita della fauna ittica, ubicato in sponda destra;
- sbocco della galleria degli scarichi della diga, ubicato in sponda sinistra, a valle della centralina e dell'imbocco del passaggio per pesci.

FIGURA 1. LA DIGA E IL PASSAGGIO PER PESCI VISTI DA VALLE (A SINISTRA), L'OPERA DI PRESA (A DESTRA) E LA GRIGLIA DI PROTEZIONE DELL'OPERA DI PRESA (IN BASSO)



2.3 VINCOLI AMBIENTALI E PAESAGGISTICI

Le opere in progetto sono da considerarsi degli interventi di tipo impiantistico, realizzate interamente all'interno di manufatti esistenti e prevalentemente sottacqua. Esse non comportano alcun tipo di effetto sul paesaggio, se non quello dovuto al lampeggio delle luci LED nei periodi di attività del sistema.

Si tratta di effetti assolutamente temporanei e reversibili (è sufficiente spegnere le luci per neutralizzare completamente l'effetto sul paesaggio).

Si ritiene quindi che, dato il tipo di intervento in progetto, non sia necessario approfondire gli aspetti legati alla pianificazione territoriale e alla vincolistica.



3 EFFETTI DELLE TURBINE SULLE ANGUILLE E POSSIBILI SOLUZIONI PROPOSTE DALLA LETTERATURA DI SETTORE

3.1 EFFETTI DELLE TURBINE SULL'ANGUILLA

3.1.1 Introduzione al tema

Un effetto dell'antropizzazione dei corsi d'acqua è la diffusione di opere di presa di centrali idroelettriche dotate di turbine che, se raggiunte dai pesci, possono procurare loro lesioni o addirittura la morte; per quanto riguarda l'anguilla, l'effetto più frequente consiste nella rottura della colonna vertebrale, di fatto letale per l'individuo.

La turbina idraulica è il componente più importante di un impianto idroelettrico. Ha il compito di convertire l'energia dell'acqua in energia meccanica, che viene a sua volta trasformata in energia elettrica grazie alla presenza di un generatore. La turbina è composta di due elementi fondamentali:

- un organo fisso, il distributore, che ha il compito di dirigere e regolare il flusso d'acqua verso la girante;
- un organo mobile, la girante, che riceve il getto d'acqua proveniente dal distributore e lo trasforma in energia rotazionale (meccanica) dell'albero motore su cui è installata.

Ne esistono di diverse tipologie che dipendono sostanzialmente dal salto e dalla portata utili alla produzione di energia. Si distinguono principalmente in turbine ad azione e turbine a reazione.

Nelle turbine ad azione come la **Pelton**, l'energia di pressione viene integralmente convertita in energia cinetica in un ugello (o più ugelli nel caso delle poligetto) a monte della girante che indirizza l'acqua sulle pale, determinandone la rotazione. La Pelton fu inventata nel 1879 e risulta essere ancora oggi la turbina ad azione con rendimento più elevato. È una turbina "lenta" ed è utilizzata principalmente per grandi salti; la forma delle pale è di due cucchiari appaiati, investiti centralmente dal getto che esce lateralmente.

Nelle turbine a reazione la conversione di energia di pressione in energia cinetica avviene in parte nello statore, in parte nella girante. Tra le tipologie più diffuse, **quelle che permettono il passaggio di fauna ittica sono le Francis e le Kaplan**.

La **Francis** è una turbina idraulica a media velocità e ha un grado di reazione medio (0,4-0,8). Sviluppata nel 1848 oggi rappresenta uno dei tipi di turbina più utilizzati. È una turbina a reazione a flusso centripeto, dove l'acqua raggiunge la girante tramite un condotto a chiocciola. L'acqua incontra prima un distributore fisso e quindi le pale del rotore, per poi essere scaricata dal centro della turbina. In basso è presente un diffusore che viene utilizzato per ridurre la pressione a valle. È reversibile e quindi può funzionare da pompa. Viene impiegata in corsi d'acqua con dislivelli da 10 m fino a 300-400 m e portate da 2-3 mc/s fino a 40-50 mc/s.

La **Turbina Kaplan**, inventata nel 1913, è una turbina idraulica a reazione a funzionamento veloce (grado di reazione elevato > 0,8) che sfrutta piccoli dislivelli, fino a qualche decina di metri, ma con grandi portate, a partire da 2-3 mc/s. Ai lati è presente un condotto a chiocciola e le pale del distributore; centralmente è,



invece, presente la girante. In basso è presente un diffusore che viene utilizzato per ridurre la pressione a valle e quindi aumentare la potenza. La turbina è costituita da un'elica, dove le pale si possono orientare al variare della portata, garantendo un buon rendimento anche al ridursi della portata, anche fino a portate del 20-30% della portata nominale. Il liquido arriva grazie al condotto a forma di chiocciola che alimenta tutta la circonferenza, poi attraversa un distributore fisso che dà al fluido un moto vorticoso, ove il flusso, deviato di 90°, la investe assialmente. Se il distributore e la girante non sono a pale orientabili come nella Kaplan ma a pale fisse allora si parla di **Turbina a elica**.

La presenza delle turbine lungo un corso d'acqua può essere una fonte di pericolo per i pesci, poiché specialmente in periodi di intensi flussi migratori lungo il fiume, i pesci possono finire dentro le turbine e per diverse ragioni (meccaniche, velocità dell'acqua o variazione di pressione) una certa percentuale di pesce può non sopravvivere al passaggio attraverso la turbina. Le cause - spesso concomitanti- di mortalità ittica, a seguito del passaggio attraverso turbine sono:

- colpi contro le parti fisse e mobili della turbina;
- accelerazioni e decelerazioni intense ed improvvise (ad esempio passando da 3-5 m/s in entrata nella turbina a 10-30 m/s al suo interno);
- forti variazioni di pressione.

Una comprovata mortalità derivata dal passaggio in turbina è quella associata ai barotraumi, originati dalle differenze di pressione che si vengono a creare a livello del distributore, della girante e all'uscita dalla stessa. Le lesioni causate da sbalzi di pressione si verificano principalmente a livello della vescica natatoria: i gas contenuti al suo interno si espandono repentinamente a causa dell'improvvisa diminuzione di pressione andando a lacerarne la parete. Conseguentemente alla rottura della vescica natatoria si possono venire a creare delle emorragie interne oppure delle embolie, derivate dall'entrata in circolo dei gas presenti all'interno. Un'altra problematica legata allo sbalzo di pressione è il danneggiamento del bulbo oculare, che può andare incontro a lesioni della cornea o a esoftalmie, vale a dire la fuoriuscita del bulbo dalle orbite (Winter *et al.*, 2006; Brown *et al.*, 2012).

Numerosi studi sono stati condotti a livello internazionale (Monten, 1985; Montreal Engineering Company, 1981; EPRI, 1987; Larinier & Dartiguelongue, 1989) con l'obiettivo appunto di valutare il livello di mortalità associato al transito delle specie ittiche più a rischio attraverso le principali tipologie di turbina. Fra queste specie si ritrovano i migratori ed in particolare i Salmonidi (allo stadio giovanile), e le anguille. La mortalità è particolarmente elevata per le anguille, ancor più che per i Salmonidi, a causa della loro lunghezza, e per i Ciprinidi, che presentano una ridotta resistenza alle variazioni di pressione. Dagli studi consultati emerge che il livello di mortalità dipende dai seguenti fattori:

- ✓ caratteristiche della turbina (ad esempio diametro e velocità di rotazione);
- ✓ regime di funzionamento della turbina;
- ✓ altezza del salto;
- ✓ specie ittica e taglia del pesce.



3.1.2 Turbine "fish-friendly"

Negli ultimi anni molti studi si stanno concentrando sull'obiettivo di ridurre i già citati danni da contatto, principalmente modificando il numero di pale e la loro conformazione.

Il seguente modello predittivo per la stima della mortalità dovuta al passaggio in una turbina Kaplan è stato proposto da Larinier e Dartiguelongue (1989):

$$AMO = 10,7 + 68,8 (TL/esp)$$

dove:

- ✓ "AMO" è il tasso di mortalità atteso,
- ✓ "TL" è la lunghezza totale del pesce,
- ✓ "esp" è lo spazio inter - pale della turbina calcolato a metà pala.

A titolo esemplificativo, se la distanza tra una pala e l'altra (esp) fosse pari a 1 m, per un'anguilla si avrebbe una probabilità di morte per l'anguilla del 45% se fosse lunga 50 cm e di circa il 73% se fosse 90 cm; mentre aumentando la distanza tra le pale a 2 m, il tasso di mortalità scenderebbe rispettivamente a 28% e 42%. Quindi, minore è la distanza tra le pale e più lungo è il pesce maggiore è la probabilità che il soggetto venga ucciso dal passaggio in turbina.

Sono stati condotti vari studi sulla costruzione di turbine che minimizzino lo stress e il ferimento dei pesci risucchiati nelle opere di presa; i principali risultati sono esposti di seguito (EA, 2014). La realizzazione di queste turbine mira sostanzialmente al raggiungimento di un compromesso tra la funzionalità (efficienza di nell'azione rotatoria) e il rispetto delle condizioni *fish friendly*.

Gli studi effettuati negli Stati Uniti (Cada and Coutant, 1997) dal Department of Energy's Advanced Hydro Turbine (AHT) hanno condotto alla redazione di queste sintetiche disposizioni:

- utilizzare turbine con il minore numero possibile di pale;
- massimizzare il raggio della turbina;
- minimizzare il numero di giri della turbina;
- massimizzare la sezione della condotta afferente alla turbina;
- evitare l'uso delle pale "*regulated runner*";
- minimizzare la cavitazione progettando opportunamente le pale, tenendo conto di zone ad alta velocità di flusso e bassa pressione, irregolarità della superficie, cambi di direzione del flusso;
- mantenere la pressione nella turbina sempre al di sopra di 0,6 bar;
- applicare ai margini delle pale delle apposite protezioni in materiale plastico per evitare le ferite da taglio (Kibel, Pike and Coe, 2009).

In alcuni casi -specialmente per bassi e bassissimi salti- l'installazione di turbine convenzionali come Kaplan e Francis può essere impossibile per gli alti costi. Salti di 1-3 m per qualsiasi valore di portata e salti medi



con basse portate sono casi tipici in cui ad oggi le turbine convenzionali non sono economiche e pertanto la ricerca s'è rivolta verso soluzioni meno costose.

Negli ultimi anni una tecnologia assai consolidata ha trovato applicazione nell'idroelettrico minore. L'inversione di funzionamento della vite d'Archimede, denominata "**coclea**", funge ora da tecnologia matura in alcuni settori di nicchia dei piccoli impianti idroelettrici. Essa è assai più economica di una turbina, affidabile e robusta in esercizio, non richiede griglia di protezione e pare che il passaggio attraverso di essa sia meno dannoso per la fauna ittica. Secondo prove recenti il rendimento massimo può raggiungere valori del 75-80%. Il campo di applicazione delle coclee arriva a 10 m e 5 m³/s per una singola coclea che può arrivare ad avere 3,5 m di diametro. Questa tecnologia ha, inoltre, trovato un impiego recente nella valorizzazione del Deflusso Minimo Vitale. In definitiva, nel caso di bassissimi salti dovrebbe essere verificata la possibilità di utilizzare soluzioni alternative alle turbine convenzionali ponendo attenzione agli sviluppi tecnologici più recenti.

Tra i modelli di turbine *fish friendly* di recente progettazione si possono citare la "MGR" (Minimum Gap Runner) e la "Alden".

La **MGR** (Voith) si basa su una Kaplan tradizionale ma è caratterizzata da *gaps* più piccoli tra il corpo della girante e la parete delle lame, riducendo il rischio di intrappolamento e di ferimento dei pesci all'interno proprio di questi *gaps*. Il primo test eseguito sulla MGR è stato fatto presso la diga di Bonneville in Oregon, e ha mostrato un **tasso di lesioni sulla fauna ittica dell'1,5% rispetto ad un tasso del 2,5% di una turbina Kaplan adiacente**. Altri test hanno trovato differenze minime relativamente ai tassi di mortalità tra le turbine MGR e le Kaplan, quest'ultime già basse, evidenziando tuttavia un aumento del 10% della produzione elettrica, e quindi mostrando una maggiore efficienza produttiva pur mantenendo le medesime caratteristiche di *fish friendliness* (Robb, 2011). La **Alden** è dotata di alcune caratteristiche che la rendono particolarmente *fish friendly*, ovvero (Perkins *et al.*, 2011):

- grande diametro;
- lenta velocità di rotazione;
- numero ridotto di lame (3);
- nessun gap;
- lame con bordi spessi.

Dal momento che non c'è divario (gap) tra i bordi delle lame e la parete della girante, vengono eliminati i vortici di bassa pressione che si verificano normalmente, riducendo la possibilità che i pesci rimangano intrappolati tra le lame e le pareti della turbina. Inoltre, al fine di ridurre la possibilità di colpire il pesce con le pale e quindi di ferirlo, questa turbina utilizza solo tre lame ma molto più lunghe rispetto alle pale tradizionali (Robb, 2011).

In un test sulla Alden condotto sul Fiume Dart, sono state catturate 160 anguille in smonta e poi lasciate discendere passando attraverso ad una turbina a coclea: la maggior parte delle stesse nuotava orientandosi in favore della corrente (capo rivolto a valle). Una sola anguilla ha mostrato una ferita di importanza secondaria al margine della coda, e tutte le anguille erano vive e vitali ad una settimana dal passaggio

attraverso la turbina. Il tempo di attraversamento della camera di turbinazione è funzione della taglia, in quanto esso è pari a circa 1 min per anguille di taglia inferiore; le anguille di taglia maggiore, in grado di opporsi per più tempo alla corrente hanno impiegato circa 15 minuti ad attraversare la camera. Questa turbina ha mostrato una **percentuale di sopravvivenza dei pesci di taglia inferiore a 20 cm superiore al 98% e una sopravvivenza di anguille e storioni superiore al 99%**. Per pesci al di sotto dei 20 cm un'unità di **Kaplan** comparabile mostrava una percentuale di **sopravvivenza dell'83,5%** mentre un'unità comparabile di **Francis** mostrava percentuali addirittura **inferiori al 50%** (Perkins *et al.*, 2011).

La **Very Low Head turbine (VLH)** è una turbina di nuova concezione progettata da MJ2 Technologies. Questo nuovo tipo di turbine cerca di diminuire il più possibile le opere di adduzione e di presa aumentando la grandezza del diametro della girante della turbina e integrando questa in una struttura auto-portante che assicura tutte le funzioni di un'installazione convenzionale. Tali impianti sono ad acqua fluente sprovvisti di serbatoio per la regolazione delle portate d'acqua utilizzate e la produzione varia nel tempo in relazione ai deflussi disponibili. Non avendo possibilità di ampie regolazioni di portata, questi impianti vengono generalmente impiegati in base, ovvero lavorano sempre al punto di massima potenza ottenibile dal gruppo, senza necessità di regolazione della potenza attiva. Una turbina VLH (figura seguente) è costituita da:

- ✓ Turbina Kaplan standardizzata con 8 pale regolabili a seconda del livello dell'acqua a monte della turbina e della portata;
- ✓ generatore a magneti permanenti direttamente accoppiato all'albero della turbina, adatto al funzionamento a velocità lente e variabili;
- ✓ dispositivo per la frenatura e l'interruzione della portata attraverso la chiusura completa delle pale, senza ausilio di potenza esterna;
- ✓ distributore fisso usato anche come griglia protettiva per la turbina;
- ✓ pulitore a rastrello direttamente montato sulla griglia del distributore;
- ✓ dispositivo in grado di estrarre l'unità fuori acqua per interventi di manutenzione o in caso di piena.

FIGURA 2. TURBINA VLH IN POSIZIONE RITIRATA (A DESTRA) E SOMMERSA (A SINISTRA) ([HTTP://WWW.VLH-TURBINE.COM/](http://www.vlh-turbine.com/))





3.2 POSSIBILI SOLUZIONI PER RIDURRE LA MORTALITÀ

Molti studi si stanno concentrando sull'obiettivo di ridurre i danni causati dal contatto con le turbine. Poiché ovviamente non sempre è possibile operare delle modificazioni negli impianti esistenti e spesso le condizioni progettuali non consentono di applicare tutti i migliori criteri tecnologici, spesso si ricorre all'uso di specifici sistemi di dissuasione. Nel paragrafo successivo è esposta una carrellata dei metodi di dissuasione disponibili, da valutare caso per caso con studi approfonditi qualora non sia presente, o non sia possibile installare, una turbina *fish-friendly*.

Per impedire l'accesso dell'ittiofauna ai canali soggetti a svuotamenti particolarmente frequenti o che portano alle centrali idroelettriche, dove è elevato il rischio di ferite mortali nel passaggio dei pesci dalle turbine, è infatti possibile adottare delle barriere. Queste possono essere di tipo passivo, cioè semplici griglie con maglie di dimensioni tali da impedire il passaggio dei pesci, oppure di tipo attivo, consistenti in griglie elettrificate che sfruttano l'effetto repulsivo del campo elettrico verso i pesci o in fasci di luce che dissuadono i pesci dal procedere in una certa direzione deviandoli. Queste ultime soluzioni, benché più costose nell'installazione e nella gestione, sono certamente più efficaci della prima perché evitano anche il rischio di avvicinamento dei pesci alle turbine; nel caso di griglie passive invece i pesci più piccoli potrebbero comunque passare e i più grandi potrebbero rimanere intrappolati a causa della forte velocità di corrente. Le griglie passive hanno inoltre il grave limite di essere soggette ad intasamento. Luce o barriere elettrificate potrebbero essere attivate unicamente in periodo di magra, soprattutto in un eventuale autunno siccitoso, con conseguente notevole abbattimento dei costi, dal momento che in condizioni di portate elevate il pesce comunque tende a smontare seguendo il corso principale del fiume (ERSAF, 2009).

3.2.1 Barriere fisiche

DISSUASORI A GRIGLIA

I dissuasori a griglia sono il più comune metodo di protezione dei pesci dagli organi di presa, e risultano efficaci anche per le anguille, a patto che sia scelta la maglia opportuna e che la velocità di corrente sia sufficientemente bassa.

Uno o più dissuasori sono in genere inseriti in guide nella struttura portante e possono, quindi, essere facilmente estratti dall'alto per la manutenzione: per la stessa finalità essi possono essere anche rotanti, ma non si tratta di una soluzione ottimale, giacché in fase di rotazione i pesci possono valicare i dissuasori.

Idealmente i dissuasori dovrebbero essere orientati parallelamente al flusso o perlomeno con un angolo che faciliti la deviazione dei pesci fino ad un canale di raccolta posizionato valle della griglia. L'angolo è calcolato in modo che il vettore di flusso perpendicolare al pannello sia inferiore alla velocità di nuoto della specie target. Angolare il pannello lo espone, inoltre, ad una velocità di corrente che contribuisce alla pulizia dello stesso. La dimensione del pannello (o dei pannelli) è chiaramente funzione della superficie di captazione e della maneggevolezza degli stessi. La maglia richiesta per la griglia varia in funzione delle differenti specie target e del periodo dell'anno: per esempio nel periodo di migrazione dell'anguilla



argentina è appropriato usare maglie piuttosto ampie. La riduzione della maglia può avvenire mediante aggiunta di una seconda griglia parallela ma leggermente sfalsata alla prima. La maglia opportuna dipende sia dalla disposizione dei pannelli, sia dalla dimensione delle anguille: se le griglie formano con la direzione di corrente un angolo inferiore a 20° , la velocità di corrente sarà maggiore, inducendo le anguille una reazione di deviazione e rendendo sufficienti griglie a maglia relativamente larga.

Il materiale di costruzione più adatto e resistente è indubbiamente l'acciaio inossidabile. A monte della griglia per la deviazione dei pesci è in genere auspicabile disporre un'ulteriore griglia a maglia maggiore. Questo accorgimento permette di mantenere il pannello di deviazione più pulito e funzionale, ma comporta la costruzione di un ulteriore scolo per il passaggio dei pesci di taglia maggiore. In alternativa alla griglia di monte può anche prevedere una spaziatura per il transito dei pesci di taglia maggiore.

I **vantaggi** dell'utilizzo di dissuasori a griglia sono:

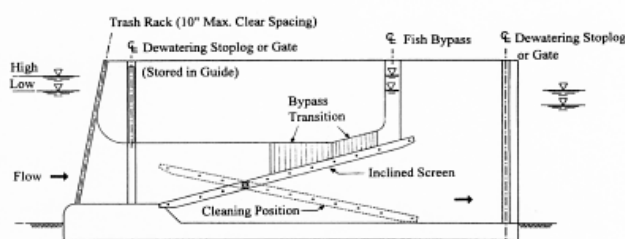
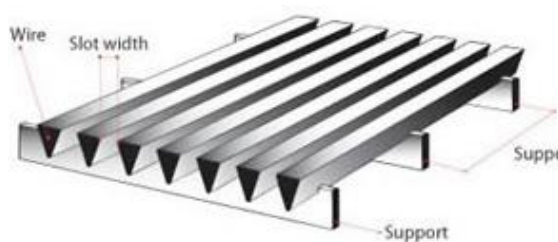
- non è richiesta energia elettrica;
- il costo di installazione è relativamente basso, specialmente per piccoli impianti;

mentre gli **svantaggi**:

- necessità di frequente pulizia per evitare l'intasamento;
- limitata resistenza ai fenomeni di piena;
- perdita di carico in caso di utilizzo di maglia fine.
- sia rappresentato da cieche o ragani è opportuno avvalersi di griglie con spaziatura 2 mm.

Tra i dissuasori a griglia più moderni si distinguono i *Modular Inclined Screen* (MIS) progettati dall'Electric Power Research Institute (EPRI), particolarmente versatili e adatti a vari contesti e specie target (Amaral *et al.*, 1999). Il dissuasore si compone di una griglia "wedge-wire" (vedere l'immagine precedente) angolata $10-20^\circ$ rispetto al flusso, con spaziature tra le sbarre di 1.9 mm in modo da risultare permeabili al 50%. L'installazione è in grado di ruotare in modo da disporsi parallela al flusso ed autopulirsi. A valle della griglia si trova un canale diversivo: le dimensioni dell'intera opera sono circa di 9 m per 3 m, garantendo portate di circa 2,8-3 m³/s e velocità di corrente da 0,6 a 3 m/s. Nello studio condotto da Amaral *et al.* (1999, in un modello simulativo di laboratorio) l'efficacia di dissuasione di questo sistema ha raggiunto il 96% per diverse velocità di corrente e specie: nello stesso studio si riporta un'efficacia (per specie ittiche fluviali) del 95% nei test condotti presso captazioni idriche vere e proprie.

FIGURA 3. GRIGLIA "WEDGE-WIRE" (A SX, FONTE: [HTTP://WWW.EUROSLOTKDSS.COM/DISSUASORATION/WEDGE-WIRE](http://www.euroslotkdss.com/dissuasoration/wedge-wire)) E DISSUASORE A GRIGLIA MODELLO MIS ([WWW.ALDENLAB.COM/SCOP-FISHERIES](http://www.aldenlab.com/scop-fisheries))





La localizzazione geografica della captazione idrica determina la taglia delle anguille transitanti nei pressi della stessa: a causa del particolare ciclo biologico dell'anguilla, cieche e ragani, infatti, si individuano esclusivamente negli ultimi 30 Km prima della foce dei fiumi nel mare; oltre questo limite, le anguille in risalita raggiungono e superano in genere la taglia di 30 cm e pertanto risulta necessario adottare soluzioni tecniche volte alla tutela di esemplari pari o superiori a questa misura. Captazioni idriche localizzate nei tratti medio-bassi delle aste fluviali necessitano, quindi, di griglie più fini rispetto a quelle localizzate nei tratti medio alti (Environment Agency, 2014). Considerando la distanza dal mare, i fiumi della Lombardia rientrano tutti in questa casistica.

DISSUASORI A BARRE VERTICALI

In passato questa soluzione era utilizzata per deviare i detriti; alcune tipologie costruttive sono munite di denti mobili o sistema "a rastrello" per la pulizia della superficie esposta. A seconda dell'applicazione il distanziamento tra le barre varia da 38 mm a 150 mm: un'inclinazione di 10° dalla verticale aiuta a mantenere il "rastrello" adeso alle barre. Il materiale di costruzione applicato è in genere l'acciaio dolce o l'acciaio inossidabile. In alcuni impianti sono state testate barre disposte orizzontalmente, in modo che la corrente le pulisca automaticamente (Ebel, 2008). Come per le griglie tradizionali precedentemente citate, negli ultimi anni si dispongono in genere due schiere di pannelli: quella di monte per la deviazione dei detriti e quella di valle per la deviazione dei pesci.

Si consigliano barre a sezione rettangolare, in quanto respingono più facilmente l'ittiofauna (anguille comprese) rispetto a quelle a sezione cilindrica (Travade *et al.*, 2009). Una spaziatura di 20 mm con barre a sezione rettangolare ha un effetto di deviazione delle anguille paragonabile a quello di una spaziatura di 15 mm con barre coniche. Questa soluzione, il cui stadio vitale target è sempre l'anguilla adulta, è alternativa a quella delle griglie a maglia.

DISSUASORI A LABIRINTO

I dissuasori a labirinto sono variazioni dei dissuasori a griglia o a barre verticali: in questo caso le griglie a barre verticali sono disposte a "V" e in serie, guidando i pesci verso un canale diversivo posto a valle degli stessi. La conformazione di un impianto tipo prevede l'installazione di 14 griglie disposte in 7 inviti a "V": questa soluzione occupa verosimilmente circa 40 m di canale, mentre l'installazione di un solo invito a "V" ne occuperebbe circa 600. Una rampa impermeabile posizionata a valle, sul fondo di ciascun invito e angolata 45° rispetto alla verticale, assicura un'accelerazione del flusso che richiama i pesci nel canale diversivo.

DISSUASORI A SFIORO

Un dissuasore a sfioro si avvale di una griglia a barre parallele disposta "a scivolo" sul lato a valle della traversa: l'acqua cade attraverso alla griglia, venendo convogliata alla turbina, mentre i detriti o i pesci vengono spinti verso valle dall'acqua di sfioro (Turnpenny, 1998).



DISSUASORE COANDA

Il dissuasore Coanda si basa sull' "effetto Coanda", scoperto dall'omonimo scienziato nel 1910. Sostanzialmente lo strato d'acqua a contatto con la griglia è soggetto ad attrito e rallenta entrando nel canale di presa sotto alla griglia stessa; mentre il flusso d'acqua superficiale continua a scorrere lungo la superficie a "scivolo" opportunamente progettata e avente una curvatura a ogiva di raggio 3 m. Le barre, della stessa tipologia di quelle raccomandate in precedenza per ragani e cieche, devono essere distanziate in funzione della granulometria dei detriti da deviare, e della dimensione delle specie target: il loro orientamento favorisce la separazione dei flussi, il rallentamento (e la deviazione nella presa) di quello inferiore e l'accelerazione di quello superiore (Turnpenny, 1998).

Questa soluzione è stata adottata principalmente per piccoli impianti ma non c'è ragione per cui essa non possa essere impiegata anche per altri impianti.

La considerazione più importante nella realizzazione di una presa con dissuasore Coanda è il rapporto quantitativo tra l'acqua captata e quella di sfioro: se la spaziatura tra le barre è troppo ampia si rischia infatti di lasciare un surplus insufficiente al corpo idrico. Nei periodi di magra può rivelarsi necessario ricoprire parte dell'area grigliata al fine di rilasciare una portata sufficiente d'acqua.

DISSUASORI A BANDE MOBILI O A TAMBURO

Molte captazioni idriche di varia tipologia si avvalgono di filtri a bande mobili o a tamburo per filtrare i detriti: queste installazioni sono posizionate in genere all'interno della sala di pompaggio e non in corrispondenza dell'opera di presa. Sono stati sviluppati inoltre accorgimenti per minimizzare il danno fisico alle specie ittiche quali:

- recipienti in grado di sollevare e rilasciare pesci e detriti nel corpo idrico;
- getti d'acqua di lavaggio e controlavaggio a bassa pressione (≤ 1 bar di pressione, non dannosa per i pesci) per convogliare i corpi estranei verso i tali recipienti;
- getti d'acqua di lavaggio e controlavaggio ad alta pressione (≥ 3 bar) sono applicati come trattamento secondario rispetto ai precedenti, una volta che i pesci sono già stati convogliati al corpo idrico.

La velocità di rotazione del filtro a tamburo, dipendente dai getti cui esso è sottoposto, è importante per la sopravvivenza dei pesci: è possibile programmare gli ugelli affinché il getto ad alta pressione venga utilizzato solo in caso di intasamento eccessivo del filtro stesso. In seguito al lavaggio a bassa pressione i pesci sono convogliati, attraverso ad apposite aperture, verso una condotta che li conduce al corpo idrico.

L'utilizzo del cloro a scopo di *antifouling* all'interno di questi impianti può risultare tossico per i pesci restituiti al corpo idrico: il suo impiego, in genere prettamente estivo non coincide comunque con il periodo di risalita di ragani e cieche. La sopravvivenza dei pesci è inversamente correlata al periodo d'esposizione al cloro e alla sua concentrazione; si consiglia tuttavia di applicare i trattamenti antifouling esclusivamente a valle del punto di raccolta e convogliamento dei pesci.

La sopravvivenza dei pesci è molto variabile, ma raggiunge anche l'80% dei pesci restituiti al corpo idrico, per specie relativamente resistenti (Turnpenny and O'Keeffe, 2005).



Tra le migliori tecniche progettuali applicate in questi anni a questa tipologia di dissuasore si ricordano:

- cestelli di raccolta non metallici;
- materiali costruttivi lisci;
- calibrazione dei getti di lavaggio e controlavaggio.

Nella fattispecie sono stati approfonditi (Turnpenny *et al.*, 2010) aspetti riguardanti il cestello di raccolta, che, nella sua forma standard non pare adatto a pesci serpentiformi quali lamprede ed anguille: in effetti i tassi di sopravvivenza delle anguille in questi dissuasori sono relativamente bassi (Clough *et al.*, 2003). Il problema principale sembra rappresentato dal fatto che le anguille riescano ad uscire dai cestelli, o che si feriscano nel farlo.

Le principali buone pratiche per aumentare la sopravvivenza dei pesci restituiti al corpo idrico sono:

- funzionamento continuo dei dissuasori, per garantire il convogliamento dei pesci nelle condotte di restituzione;
- la griglia del filtro deve essere liscia e "*fish friendly*", di maglia inferiore a 6 mm;
- assicurarsi che il design del cestello non consenta alle anguille la fuga;
- applicare trattamenti chimici a valle del recupero dei pesci;
- assicurarsi che le condotte di restituzione abbiano diametro minimo di 30 cm;
- la restituzione deve avvenire a livello del corpo idrico;
- il flusso d'acqua nelle condotte deve essere continuo;
- per minimizzare lo stress al pesce il filtro deve ruotare alla velocità costante di almeno 1,5 m al minuto;
- i cambi di pendenza nella condotta di restituzione devono avere curvatura minima di 3 m di raggio, per evitare che i pesci saltino e sbattano nella condotta;
- la turbolenza nell'impianto deve mantenersi inferiore a 100 Wm^{-3} .

Questo genere di dissuasore è utilizzato in genere in impianti estuarini, ma può essere utilizzato anche negli impianti di potabilizzazione.

L'efficacia di questi dissuasori è ottimale per specie bentiche e demersali, e dubbia per specie pelagiche: nella fattispecie, data l'attuale conformazione dei cestelli di raccolta, essa è particolarmente bassa per l'anguilla: per il recupero degli stadi giovanili è opportuno che la maglia utilizzata non superi 2-3 mm.

3.2.2 Barriere comportamentali e metodi di guidance

I metodi deterrenti sono normalmente utilizzati dove non risulti possibile usare le barriere fisiche in corrispondenza delle opere di presa, principalmente a causa della navigazione, dell'elevato trasporto solido del corpo idrico o della propensione dello stesso allo sviluppo del *biofouling*. I deterrenti comportamentali possono essere applicati, quindi, in sostituzione o aggiunta ai più comuni metodi sopra descritti.

I pesci hanno una serie di sensi ben sviluppati, e sono in grado di percepire e reagire a svariati stimoli (quali suoni, vibrazioni, temperatura, sapore, odore, cambi di pressione, attrito idraulico, accelerazione, campi elettrici e magnetici). La sensibilità e risposta a tali stimoli varia ovviamente di specie in specie e negli stadi



vitali. I deterrenti comportamentali utilizzano uno o più stimoli per allontanare i pesci dall'area di captazione idrica e in alcuni casi per guidarli in zone più sicure.

L'intensità dello stimolo deve essere ovviamente tarata in modo da non creare una vera e propria discontinuità nella percorribilità del corpo idrico e da rendere efficace lo stimolo al variare delle condizioni ambientali.

DISSUASORI "A TAPPARELLA"

Il dissuasore a tapparella è stato usato fin dagli anni '50 e consiste in un dissuasore semi-fisico che devia il percorso anche del 90% dei pesci transitanti presso lo stesso (Aitken *et al.*, 1966, Solomon, 1992).

In generale l'efficienza di questo dissuasore varia dall'80 al 100%, in funzione della spaziatura tra le tapparelle e dalla loro angolazione. Il principio di funzionamento di questo dissuasore si basa sostanzialmente sulla reazione di fuga che hanno i pesci nei confronti dei vortici creati dal flusso dell'acqua lungo le "tapparelle": i pesci sono quindi guidati dall'angolazione della struttura verso un canale di raccolta. La migliore efficienza si ha angolando perpendicolarmente le tapparelle alla direzione di flusso. L'angolo di disposizione della struttura varia invece da 10° a 30°, ma l'optimum è in genere intorno a 10-15°; l'efficienza diminuisce all'aumentare dell'angolo. L'angolo ottimale fa sì che la lunghezza delle tapparelle (e quindi dell'intera griglia) sia 3.86-5.76 l'ampiezza del canale (Solomon, 1992).

Una spaziatura appropriata tra le tapparelle varia da 2,5 a 30 cm in funzione della specie target (Therrien e Bourgeois, 2000). La maggior parte degli ingressi dei pesci nella griglia avviene a valle della stessa, in prossimità dell'imbocco del canale di raccolta: per questa ragione in questo punto è opportuno ridurre la spaziatura tra le tapparelle ad almeno 5 cm (se a monte era superiore).

La profondità non modifica la funzionalità della griglia in quanto è dimostrato che essa è ottimale anche in canali profondi 4 m (Ducharme, 1972).

Non vi sono numerosi esempi di utilizzo di questa soluzione nella deviazione delle anguille dalle opere di presa, ma si riportano buoni risultati (non pubblicati) con anguille argentine (*A. rostrata*) di lunghezza media 56 cm. Si è registrata una deviazione del 60% delle anguille con tapparelle spaziate 5 cm, orientate a 45° rispetto alla verticale e disposte a 15° rispetto alla direzione di flusso, per velocità variabili da 0.3, 0.6 e 0.9 m/s. Aggiungendo una barra alta 30 cm lungo il fondo della struttura l'efficacia di deviazione ha raggiunto il 90% circa indipendentemente dalla velocità di corrente. Sebbene la struttura sia una soluzione semi-fisica si possono comunque riscontrare problemi di intasamento che comportano costi di manutenzione, che possono essere risolti loro volta posizionando una griglia a monte del dissuasore a tapparella.

Le barriere a tapparella sono particolarmente indicate per corsi d'acqua canalizzati o perlomeno regolati, che garantiscano portate e velocità di corrente uniformi: data la bassa perdita di carico che consegue l'installazione di queste barriere, esse sono particolarmente indicate anche per grandi corpi idrici con impianti a basso dislivello. Questa tipologia di dissuasore è poco adatta ai corsi d'acqua con notevole trasporto di vegetali. Questo tipo di barriere è indicato per anguille adulte (>50 cm).



DISSUASORE A BOLLE

I dissuasori a bolle sono uno dei tipici esempi di dissuasori comportamentali: Turnpenny e O'Keeffe (2005) indicano questa soluzione come adatta alle specie migratrici, in quanto quelle sedentarie si abituano nel tempo al disturbo arrecato dalle bolle, rendendolo inefficace.

Date le ridotte capacità visive delle anguille, esse devono necessariamente entrare in contatto con le bolle per identificarle, ma pare che lo stimolo sensoriale sia troppo debole per innescare la reazione di dissuasione auspicata: è opportuno abbinare questa soluzione ad altre (presentate in seguito), quali le luci stroboscopiche o i suoni a bassa frequenza.

BARRIERE ELETTRICHE

La generazione di un campo elettrico che agisca da deterrente per i pesci è pratica piuttosto delicata, in quanto oltre alle problematiche legate alla sicurezza, si riscontrano criticità dovute dalla risposta *size-dependent* che i pesci hanno al campo elettrico: i pesci di grande taglia sono infatti esposti ad un voltaggio maggiore di quelli di piccola taglia e quindi reagiscono più intensamente. Un campo elettrico sufficientemente intenso per dissuadere pesci di piccola taglia può quindi essere troppo forte per i pesci di taglia maggiore, che possono rimanere temporaneamente paralizzati ed essere trascinati nella presa dalla corrente (Turnpenny, 1998).

Per questa ragione, e soprattutto per pesci di forma allungata quali l'anguilla, Turnpenny e O'Keeffe (2005) sconsigliano di impiegare le barriere elettriche, che invece sono più indicate come metodo di dissuasione nelle opere di restituzione.

GUIDANCE ACUSTICA

Il range dell'udito della maggior parte dei pesci ricade all'interno di quello umano: la massima sensibilità ricade sotto la banda dei 3 kHz, fino alle frequenze dell'infrasuono (Hawkins, 1981; Sand e Karlsen, 1986). Molte specie mostrano una reazione negativa ai rumori forti e questa occorrenza consente di realizzare vere e proprie barriere di rumore, evitando che i pesci entrino nelle opere di presa.

Negli ultimi 15 anni i progressi nell'ambito della *guidance* acustica sono stati notevoli e la ricerca è stata condotta soprattutto per specie pelagiche e per opere di presa di grandi dimensioni (Turnpenny e O'Keeffe, 2005).

Misurazioni condotte mediante audiogramma hanno dimostrato che le anguille sono sensibili a frequenze di 90 Hz e vibrazioni intorno a 40 Hz (Jerkø *et al.*, 1989).

Secondo esperimenti condotti nei Fawley Aquatic Research Laboratories (Turnpenny *et al.*, 1993), le anguille argentine mostrano di non percepire una gamma di vari suoni (50-2,000 Hz, fino a 180 dB re 1 µPa). Di particolare interesse risulta invece la scoperta che la migrazione delle anguille sembra influenzata dalle fonti di ultrasuoni (Sand *et al.*, 2000). Per quanto i comuni generatori utilizzati nelle tecniche di dissuasione acustica generino onde nella regione dell'ultrasuono (<20Hz), esistono generatori in grado di emettere esclusivamente infrasuoni: sebbene la ricerca in tale senso sia promettente, non esistono ad oggi (2015) dispositivi ad infrasuoni attualmente pronti all'uso.



DISSUASORI LUMINOSI

La luce può essere usata essenzialmente in due modi:

1. per illuminare barriere fisiche o comportamentali;
2. come deterrente o attrattiva.

Lo studio della luce come deterrente ebbe inizio negli anni '50: Brett e MacKinnon (1953) scoprirono che la risposta agli stimoli luminosi era del tutto specie specifica, e che le luci intermittenti (o i flash) provocavano risposte più intense nei pesci.

La maggior parte dell'intrappolamento di pesci contro le barriere o nelle opere di presa avviene di notte: il posizionamento appropriato di luci in prossimità delle barriere fisiche contribuisce a ridurre (o anche annullare del tutto) l'intrappolamento o il risucchio dei pesci nelle opere di presa. La funzionalità dei dissuasori luminosi può infatti raggiungere il 100% per specie come il persico reale e l'acerina (Hadderingh, 1982). Per minimizzare l'inquinamento luminoso e raggiungere la massima efficacia è necessario che la sorgente luminosa venga immersa, comportando costi di manutenzione e pulizia della stessa. In genere, le luci sono posizionate ad arco sul fondo, in prossimità della presa, ad una distanza sufficiente perché i pesci in avvicinamento possano cambiare direzione ed allontanarsi (Turnpenny, 1998). L'angolazione della luce è altrettanto importante: è consigliata un'orientazione di 40-45° rispetto al piano (Johnson *et al.*, 2001).

ILLUMINAZIONE CONTINUA

L'illuminazione continua, pur non essendo la metodica dissuasiva migliore per molte specie ittiche, funziona particolarmente per l'anguilla e il suo uso è stato testato ampiamente in Paesi Bassi (Hadderingh e Smythe, 1997). L'anguilla mostra una forte fototassi e reotassi positiva: la luce può, quindi, essere usata per dissuadere l'anguilla dal seguire il flusso d'acqua captato.

La sorgente luminosa può essere una lampada incandescente, al mercurio o fluorescente. Negli esperimenti condotti finora ci si è avvalsi in genere di lampade fluorescenti (36W, PL-L Philips, spettro con picchi a 440, 550 e 610 nm) che hanno garantito un'efficacia nella dissuasione pari al 74% in impianti idroelettrici.

LUCI STROBOSCOPICHE

Le luci stroboscopiche garantiscono performance di dissuasione migliori rispetto all'illuminazione continua, e la maggior parte degli esperimenti è stata finora condotta sull'anguilla. Nello studio di Patrick *et al.* (1982) sono state testate luci stroboscopiche per dissuadere le anguille in prossimità della presa di una turbina non in funzione; in un secondo studio Patrick *et al.* (2001) le luci stroboscopiche sono state utilizzate in un passaggio per pesci. In entrambe i casi si è osservata una riduzione del movimento delle anguille del 65-92%; nel secondo studio si sono testate luci con frequenza variabile da 66 a 1090 flash/minuto con risultati di dissuasione sempre positivi.

Le luci stroboscopiche possono essere più efficaci se abbinate ad altri sistemi dissuasivi comportamentali o fisici: per esempio la combinazione del dissuasore a bolle e luci stroboscopiche è particolarmente efficace



per specie come *Alosa pseudoharengus*, *Osmerus mordax*, *Dorosoma cepedianum* (Patrick *et al.*, 1985) ma non è mai stata testata sull'anguilla.

Sebbene sia generalmente riconosciuto che le luci stroboscopiche funzionino meglio in acque ad elevata trasparenza (Turnpenny e O'Keeffe, 2005), l'esperimento condotto da McIninch e Hocutt (1987) ha fatto registrare un aumento dell'efficacia di dissuasione parallelo all'aumento della torbidità (a partire da acque trasparenti per poi giungere a 39-45 e 102-138 NTU). Questo fenomeno è probabilmente dovuto alla rifrazione della luce sulle particelle sospese in acqua, che crea un'area illuminata di facile detezione.

Buone pratiche di installazione sono:

- si presume che l'efficacia dissuasiva delle luci stroboscopiche sia maggiore per acque trasparenti o velate; pertanto la torbidità dell'acqua non deve essere eccessiva;
- le lampade devono essere installate su di un meccanismo a scorrimento, perché esse possano essere agevolmente pulite;
- si consigliano adeguati test per ottimizzare la velocità di *flashing*, in quanto c'è il rischio di attirare i pesci invece di respingerli e sussistono rischi per la salute umana; si considera pertanto sicuro l'utilizzo di una velocità di *flashing* inferiore a 240 flash/minuto;
- le luci devono essere accese solo quando necessario, per evitare consumi o guasti;
- installare sistemi di controllo della funzionalità delle luci, al fine di segnalare puntualmente eventuali guasti,

Le tecniche dissuasive che si basano sull'illuminazione sono adatte in caso di grandi portate che debbano essere captate senza dislivello (per esempio negli impianti termici); tali tecniche sono particolarmente adatte ad essere abbinate ad altri sistemi dissuasivi (comportamentali o fisici) e il progresso nelle tecniche di costruzione delle lampade stroboscopiche permette performance (in termini di durata) molto promettenti.

Per quanto riguarda l'anguilla è stato studiato che un'efficace barriera comportamentale deriva dall'utilizzo di lampade fluorescenti. Poste in acqua, in prossimità dell'ostacolo da evitare, deviano verso zone d'ombra più del 65% degli esemplari studiati, andando ad influenzare il tragitto di migrazione in modo nettamente maggiore rispetto alla velocità di flusso, fattore che determina in natura le traiettorie di nuoto (Hadderingh *et al.*, 1999).



4 ELEMENTI CONOSCITIVI A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE

4.1 CRITERI GENERALI PER LA PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI DISSUASORI

La costruzione di dissuasori efficaci deve essere mirata alla specie target, alle caratteristiche della sua eventuale migrazione, alla taglia e allo stadio vitale della stessa. Questi fattori determinano quindi il metodo migliore da utilizzare e la progettazione specifica del dissuasore (dimensione della maglia, ecc.).

La progettazione dei dissuasori e il loro uso possono dipendere dalla stagionalità delle migrazioni: la protezione delle anguille argentine per esempio, presso Backbarrow (Fiume Leven, Cumbria) avviene mediante posizionamento di apposite griglie nel canale di presa esclusivamente nel periodo autunnale.

Per quanto riguarda l'anguilla si riportano a titolo conoscitivo i periodi di migrazione relativi agli stadi vitali; in questo ambito, data la posizione geografica degli impianti lombardi, si definisce di interesse solo la classe di taglia di anguilla maggiore di 30 cm.

TABELLA 1 - PERIODI DI MIGRAZIONE RELATIVI AGLI STADI VITALI DELL'ANGUILLA

	MIGRAZIONE	PERIODO
Cieca	Dipendenza dal trasporto delle maree	Primavera
Ragano	Nuoto attivo verso monte	Durante tutto l'anno
Anguilla gialla	Nuoto attivo verso monte e verso valle	Durante tutto l'anno
Anguilla argentina	Smonta (discesa)	Durante tutto l'anno, ma soprattutto in autunno

In genere la migrazione delle anguille argentine avviene prevalentemente tra il tramonto e l'alba e sarebbe quindi opportuno che nel periodo di migrazione le attività di derivazione idrica venissero sospese di notte. Questa pratica risulta comunque in genere antieconomica e poco plausibile.

CAPACITÀ NATATORIE DELL'ANGUILLA, VELOCITÀ IMPONIBILI E VELOCITÀ DI FUGA

L'anguilla è in genere considerata specie dalle capacità di nuoto modeste, che dipendono fortemente dalla forma del corpo della specie e dalla temperatura dell'acqua. Nella progettazione di captazioni idriche, di sistemi dissuasivi e di canali bypass è necessario tenere conto delle performance natatorie riassunte in Tabella 2: i valori sono espressi in funzione della temperatura dell'acqua, fattore che varia in funzione della stagione e della posizione geografica del sito.

TABELLA 2 - VELOCITÀ DI SCATTO E DI NUOTO SOSTENUTO (CMS-1) DI ANGUILLE GIALLE (*ANGUILLA ANGUILLA*) IN RELAZIONE ALLA TAGLIA E ALLA TEMPERATURA DELL'ACQUA, CON MEDIANA E VALORI DEL 90° PERCENTILE (DA SWIMIT V3.3).

Water temp. °C	Parameter and percentile	Body length (cm)							
		10cm		30cm		50cm		70cm	
		Sust.	Burst	Sust.	Burst	Sust.	Burst	Sust.	Burst
<10	Mean	9	101	19	109	38	119	58	126
	90	<5	80	6	88	18	98	31	105
10-15	Mean	13	104	23	112	43	123	62	129
	90	<5	83	9	91	22	102	35	108
>15	Mean	18	107	27	115	47	125	66	132
	90	6	86	13	94	26	104	38	111

NOTA: LA VELOCITÀ DI SCATTO (BURST) PUÒ ESSERE SOSTENUTA PER DEFINIZIONE PER 20 SECONDI. LA VELOCITÀ DI NUOTO SOSTENUTO (SUST) PUÒ INVECE ESSERE MANTENUTA PER ALMENO 200 MINUTI. VELOCITÀ INTERMEDIE POSSONO ESSERE MANTENUTE PER PERIODI TRA QUESTI LIMITI (EA, 2014)

Per quanto riguarda la velocità di fuga dei pesci, la letteratura riporta i valori di seguito riportati:

- velocità massime comprese tra 1,2 e 1,5 m/s (Clough, 2004)
- velocità massima superabile dai ragani (20 cm circa): 1,15 m/s (Beach e Solomon, 2004)
- velocità massima superabile dalle anguille gialle (circa 40 cm): 1,25 m/s (Beach e Solomon, 2004)
- velocità massima superabile dalle anguille adulte (>60 cm): 1,35-1,40 m/s (Beach e Solomon, 2004)
- velocità massima di scatto della specie: anche oltre 2,40 m/s (Travade *et al.*, 1998).

L'intrappolamento delle anguille contro ai dissuasori (griglie, dissuasori a barre) può avere come conseguenza lesioni o morte per soffocamento delle stesse. Per evitare queste conseguenze è necessario che la velocità dell'acqua nel canale di presa (e soprattutto in prossimità dei dissuasori) sia inferiore a quella di fuga delle anguille. Come già citato, anche l'angolazione dei dissuasori rispetto al flusso deve essere calcolata opportunamente.

TABELLA 3 - MASSIMA VELOCITÀ DI CORRENTE IMPONIBILE A 10 CM DAL DISSUASORE, IN FUNZIONE DEGLI STADI VITALI (EA, 2014)

Life stage	Screen angle Φ 21 to 90°	Screen angle $\Phi \leq 20^\circ$
Elver/glass eel	10 cms ⁻¹	25 cms ⁻¹ (screen length <10 m)
Yellow >14cm	15 cms ⁻¹	30 cms ⁻¹
Yellow >30cm/silver eel	20 cms ⁻¹	40 cms ⁻¹
Silver eel	40 cms ⁻¹	50 cms ⁻¹



4.2 INDICAZIONI TECNICHE SPECIFICHE PER LA REALIZZAZIONE DI BARRIERE COMPORTAMENTALI A LED

I recenti tentativi di impiegare i LED come fonte luminosa sembrano molto più promettenti dei tentativi condotti in passato; i LED incorporano anche diodi UV anti-biofouling al fine di ridurre le operazioni di pulizia. Essi possono essere programmati per operare in continuo o con flash per migliorare la visibilità e probabilmente ridurre l'abituazione da parte dei pesci. (EPRI, 2018a).

L'utilizzo di luci a LED permette di programmare facilmente l'intensità luminosa, la frequenza di accensione, la frequenza della luce, selezionando potenzialmente combinazioni particolarmente efficaci alla dissuasione anche in tempo reale. I sistemi più moderni sono dotati di programmazione a cicli variabili.

Esemplari adulti di anguilla in migrazione riproduttiva hanno evidenziato una particolare sensibilità alla luce blu (480 nm) e verde (520 nm) (Pankhurst & Lythgoe 1983), con sensibilità al blu crescente con la maturità sessuale (Carlisle & Denton 1959). Al buio le cellule retinali dell'anguilla sono più sensibili a onde della lunghezza di 520 nm, mentre in ambiente illuminato a onde di maggiore lunghezza (per esempio 550 nm; Gordon et al. 1978).

Le luci stroboscopiche si sono rivelate un deterrente efficace per le anguille (Kruitwagen 2014), sebbene siano state valutate solo luci bianche e rosse (quest'ultime inefficaci).

Un sistema sperimentale realizzato (Elvidge, 2018) è composto da 162 moduli LED che possono produrre luce rossa, verde e blu ad intensità variabile e frequenza fino a 40 HZ per 16 mln di differenti combinazioni di colore e intensità (ATET-Tech, www.atet-tech.com); il sistema è stato programmato per l'emissione di onde luminose blu (480 nm) e gialle (550 nm), bianca a pieno spettro, con intermittenza a 1 o 30 Hz. Le anguille hanno mostrato avversione massima per il blu intermittenza 30 Hz.

Le luci a LED sono meno costose di quelle allo Xeno, possono incorporare diodi antifouling risultando meno impegnative per manutenzione, operare in continuo o intermittenza, essere programmate flessibilmente per ridurre abituazione o l'effetto su altre specie.



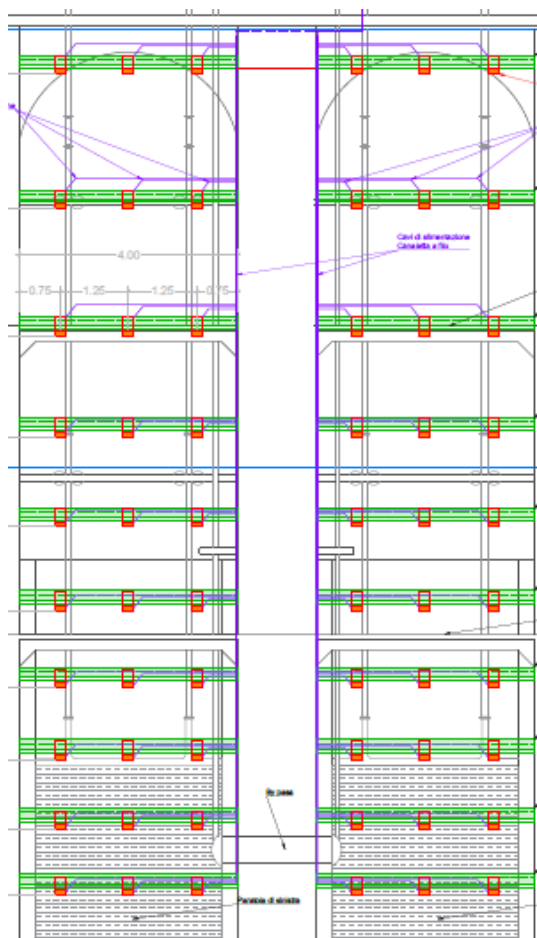
5 GLI INTERVENTI IN PROGETTO PRESSO L'OPERA DI PRESA DELLA DIGA DI CREVA

5.1 CARATTERISTICHE GENERALI

Dopo una lunga fase di screening durante la quale sono state considerate diverse soluzioni progettuali, a seguito di un'analisi bibliografica basata sugli elementi descritti nei precedenti capitoli e dopo un confronto diretto con il personale che gestisce e amministra la diga e le opere idrauliche si è giunti alla formulazione della soluzione progettuale di seguito descritta e rappresentata graficamente negli allegati 004 e 005.

Il sistema dissuasivo è composto da 60 "corpi illuminanti" montati su delle staffe in acciaio inox realizzate su misura che vengono fissate alle travi IPE montate orizzontalmente a supporto della griglia di protezione dell'opera di presa.

FIGURA 4. SCHEMA DI POSIZIONAMENTO DEI CORPI ILLUMINANTI ESTRAPOLATO DALL'ELABORATO PROGETTUALE 004





Come rappresentato schematicamente in Figura 4, i copri illuminanti sono disposti a gruppi di 3 sulle 10 travi IPE presenti in ciascuna campata, per un totale di 60 lampade.

I fari si trovano quindi dietro la griglia meccanica a protezione dell'opera di presa, il che comporta:

- Una maggiore protezione delle lampade e dei cavi, che sono appunto protetti dalla griglia.
- Una riduzione delle prestazioni del sistema dissuasivo, in quanto parte della luce emessa viene "persa" passando attraverso la griglia; per contro è probabile che i singoli elementi che compongono la griglia (barre a sezione ogivale lunghe 60 mm e spaziate 80 mm) generino dei fenomeni di riflessione che potrebbero comunque migliorare l'effetto di disturbo indotto dalle luci.
- Una combinazione ottimale tra barriera fisica (griglia a barriera verticale) e barriera comportamentale.

Ciascuna lampada è dotata di un cavo di alimentazione indipendente e di un connettore subacqueo posizionato in prossimità della lampada, in modo da consentire di sostituire facilmente ogni singolo corpo illuminante.

I cavi di alimentazione sono quindi progressivamente raccolti su una fune in acciaio che risale sul bordo interno di ciascuna campata fino al solaio sottostante il locale paratoie.

I 60 cavi attraversano quindi il solaio e vengono collegati al quadro elettrico di controllo, posizionato all'interno del locale paratoie.

Il quadro elettrico, oltre ad alimentare le 60 lampade con una corrente continua a bassa tensione (Dc 12 V), deve garantire le seguenti funzionalità:

1. possibilità di programmare i giorni e l'orario di funzionamento delle lampade;
2. possibilità di regolare l'intensità luminosa dei corpi illuminanti;
3. possibilità di programmare per ciascun tipo di luce (led COB e led a diodo) in modalità "luce fissa" o in modalità "luce stroboscopica";
4. possibilità di regolare la frequenza di accensione della luce stroboscopica (1 -> 30 Hz);
5. sistema di diagnostica che consenta di conoscere lo stato di ciascun copro illuminante;
6. collegamento con il sistema di rilevazione idrometrico della centrale (o aggiunta di un sensore di livello dedicato) in modo da poter controllare l'accensione delle sole lampade che si trovano sotto il livello dell'acqua.

Le caratteristiche richieste possono essere ottenute mediante l'installazione e la programmazione di un sistema logico di controllo (PLC) o con altri sistemi alternativi proposti dalla ditta in sede di gara.

Nelle pagine che seguono si presenta una descrizione per fasi degli interventi in progetto, mentre le specifiche tecniche delle varie parti che compongono il sistema sono invece descritte nel successivo Paragrafo 0.



5.2 LE FASI DI REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Il sistema dissuasivo previsto dal presente progetto è costituito da un apparato sperimentale che per la sua natura e per le peculiarità dell'opera presso cui deve essere installato non può essere realizzato assemblando e montando dei prodotti standard reperibili sul mercato, ma deve essere realizzato ad hoc in funzione delle specificità del sito e delle esigenze di progetto.

Ne consegue che una volta conclusa la fase di aggiudicazione dei lavori, dovrà essere prevista una fase preliminare all'inizio dei lavori veri e propri durante la quale l'impresa appaltatrice dovrà:

- verificare sul posto, per mezzo di un'ispezione subacquea, lo stato delle opere esistenti e l'effettiva corrispondenza con gli elaborati progettuali;
- realizzare dei prototipi degli apparati illuminanti, testarli, dividerne gli esiti con la Direzione Lavori e sviluppare un sistema di produzione "in serie" che consenta la produzione di tutti i corpi illuminanti e garantisca che gli stessi abbiano le stesse caratteristiche e lo stesso grado di protezione;
- ordinare tutti i materiali e le apparecchiature necessarie alla realizzazione dell'intervento, attività che, visti anche i recenti comportamenti del mercato internazionale, potrebbe richiedere tempi maggiori di quelli attualmente prevedibili.

Per tutte queste ragioni, nel predisporre il cronoprogramma dei lavori (Allegato 006) e nello stabilire il tempo necessario all'esecuzione dei lavori (120 giorni naturali) si è tenuto conto di quanto appena esposto.

La realizzazione degli interventi in progetto è stata quindi articolata nelle seguenti fasi:

1. forniture (70 gg)
2. ispezioni preliminari (2 ispezioni nei primi 65 gg)
3. assemblaggio delle parti in officina (25 gg)
4. test in officina (3 gg)
5. montaggio corpi illuminanti (15 gg)
6. montaggio quadro elettrico e cablaggi (5 gg)
7. test finale (2 gg)



5.2.1 Fase 1 – Forniture

La primissima fase delle lavorazioni consiste nella realizzazione e nello sviluppo di uno o più prototipi del corpo illuminante, attività che deve essere avviata non appena consegnati i lavori.

L'impresa appaltatrice provvederà quindi a procurarsi o più probabilmente a realizzare dei prototipi che rispondano alle specifiche di progetto che saranno testati in diverse condizioni di profondità, torbidità e luminosità esterna. Nel momento in cui il prototipo realizzato soddisfa le richieste progettuali e viene approvato dalla Direzioni Lavori, l'impresa provvederà ad organizzare la produzione in serie dei 60 corpi illuminati da montare e di quelli aggiuntivi (almeno 10) da utilizzare per i successivi interventi di manutenzione / sostituzione.

Contestualmente la ditta provvederà a mettere in produzione le staffe di supporto, ad ordinare il cavo subacqueo e a procurarsi tutto il materiale e le attrezzature necessarie per la realizzazione dell'intervento.

In questa fase preliminare sarà infine studiato e realizzato il quadro elettrico, che dovrà rispondere alle specifiche progettuali, e sarà effettuata la **valutazione del rischio di fulminazione della struttura**, che permetterà di dimensionare correttamente gli scaricatori di sovratensione.

5.2.2 Fase 2 – Ispezioni preliminari

Contemporaneamente alla fase di fornitura del materiale, la ditta organizzerà una o più ispezioni subacquee, durante le quali provvederà a:

- verificare le dimensioni delle travi IPE indicate nel progetto;
- verificare lo stato delle travi IPE;
- pulire grossolanamente le travi dal materiale depositato sul lato superiore;
- individuare eventuali elementi che potrebbero interferire con l'installazione dei corpi illuminanti;
- marcare sulle travi IPE la posizione delle staffe;
- rimuovere eventuali incrostazioni dalle travi IPE nei punti in cui è previsto il posizionamento delle staffe.

In questa fase potrebbe essere necessario il supporto dei rocciatori per completare il lavoro sulle travi più alte che potrebbero trovarsi al di sopra del livello di invaso.



5.2.3 Fase 3 - Assemblaggio delle parti in officina

Nel momento in cui la ditta avrà a disposizione presso il proprio magazzino i corpi illuminanti, le staffe, i cavi e i connettori subacquei, si provvederà a fissare i corpi illuminanti alle staffe e a intestare i cavi sul lato faro, collegando il connettore. In questo modo, durante la fase di installazione ogni elemento sarà già costituito da: corpo illuminante, staffa e cavo già tagliato della lunghezza giusta.

5.2.4 Fase 4 - Test in officina

Prima di procedere al montaggio del sistema dissuasivo saranno effettuati degli ultimi test in officina (fuori acqua, in acqua poco profonda, in acqua ad almeno 30 m di profondità).

5.2.5 Fase 5 - Montaggio corpi illuminanti

In questa fase, durante la quale opereranno sia i sub che i rocciatori, saranno effettuate le seguenti lavorazioni:

- fissaggio delle funi-guida in acciaio a cui attaccare i cavi elettrici;
- eventuale foratura dei due ballatoi per consentire il passaggio dei cavi;
- fissaggio dei moduli costituiti da staffe e corpi illuminati alle travi IPE;
- fissaggio dei cavi (con fascette in plastica) alle funi-guida in acciaio.

5.2.6 Fase 6 - Montaggio quadro elettrico e cablaggi

Questa fase comprende tutte le lavorazioni che verranno effettuate all'interno del locale paratoie, che consistono essenzialmente nel montaggio del quadro elettrico e delle canaline e nel cablaggio.

5.2.7 Fase 7 - Test finale

Quest'ultima fase prevede il test finale del sistema, sperimentando le diverse modalità di funzionamento.



5.3 SPECIFICHE TECNICHE DELLE PARTI CHE COMPONGO L'IMPIANTO IN PROGETTO

Nel presente paragrafo si riporta una descrizione delle principali parti che andranno a costituire la barriera comportamentale prevista dal progetto.

5.3.1 Corpi illuminanti

I corpi illuminanti sono costituiti da un supporto in alluminio dello spessore di almeno 2 mm, costituiti da una piastra di dimensioni 200 x 50 mm, dotata di 4 fori sugli angoli per il fissaggio alla staffa in acciaio inox per il fissaggio alle travi IPE. Alla piastra è collegato un profilo di contenimento che occupa una superficie di 140 x 50 mm al centro della piastra e sporge di 30 mm. Il supporto può eventualmente essere ricavato da un profilato a U 50x30x2 mm. Su uno dei due lati corti deve essere presente un foro di per il passaggio del cavo subacqueo.

Il supporto deve essere reso completamente impermeabile (IP68) e resistente ad una profondità di 40 m. Il lato frontale deve essere completamente trasparente e UV resistente.

Ogni corpo illuminante deve essere completo all'esterno di uno spezzone di cavo subacqueo di circa 25 cm dotato di connettore subacqueo quadripolare.

All'interno del supporto devono essere presenti:

- un circuito stampato appositamente progettato e realizzato in cui alloggiare le luci led e a cui saldare i quattro fili per l'alimentazione del faro in bassa tensione (CD 12V).
- n° 2 led tipo COB, di colore da definire con la DL in base alle disponibilità di mercato, alimentazione 12V, potenza 10 W, assorbimento 1.7 A.
- almeno n° 6 a diodo da 5 mm, di colore da definire con la DL, tensione 3.5 V, luminosità 20 cand., assorbimento massimo 0.075 A.

Si rimanda all'allegato 005 per una rappresentazione grafica dei corpi illuminanti e delle staffe di supporto.

5.3.2 Cavidotti e impianto elettrico

Il cavo da utilizzare per l'alimentazione dei corpi illuminati deve essere di tipo subacqueo e dotato di treccia in kevlar per migliorarne la resistenza allo strappo e all'estensione. La sezione di progetto (2 x 2,5 mm per le lampade COD + 2 x 1,5 mm per i led a diodo) deve essere verificata ed eventualmente potenziata in base all'effettivo assorbimento e al numero dei led proposti dall'impresa appaltatrice.

Il cavo indicato in progetto deve essere utilizzato sia per la realizzazione dei corpi illuminanti (spezzoni da 25 cm incorporati nel faro e dotati di connettore), sia per realizzare le linee che collegano le singole unità illuminanti al quadro elettrico.



5.3.3 Quadro elettrico e sistema di controllo

Il quadro elettrico sarà alloggiato in un doppio armadio di dimensioni ciascuno di 850 x 2000 mm che sarà alloggiato nel locale paratoie, contro la parte interna che separa il locale paratoie dal vano scale.

All'interno del quadro saranno presenti:

1. 1 interruttore sezionatore di sicurezza;
2. la morsettiera di collegamento dei fari (60 x 4 fili);
3. 20 interruttori magnetotermici (1 per ogni fila di tre lampade);
4. interruttori differenziali;
5. 60 alimentatori a servizio dei corpi illuminanti;
6. il PLC o un sistema di controllo e verifica alternativo che offra all'operatore le seguenti possibilità:
 - a. possibilità di programmare i giorni e l'orario di funzionamento delle lampade;
 - b. possibilità di regolare l'intensità luminosa dei corpi illuminanti;
 - c. possibilità di programmare per ciascun tipo di luce (led COB e led a diodo) in modalità "luce fissa" o in modalità "luce stroboscopica";
 - d. possibilità di regolare la frequenza di accensione della luce stroboscopica (1 -> 30 Hz);
 - e. sistema di diagnostica che consenta di conoscere lo stato di ciascun corpo illuminante;
 - f. collegamento con il sistema di rilevazione idrometrico della centrale (o aggiunta di un sensore di livello dedicato) in modo da poter controllare l'accensione delle sole lampade che si trovano sotto il livello dell'acqua.



5.4 CONSIDERAZIONI SULLA CANTIERIZZAZIONE, SULLA SICUREZZA E SULLE INTERFERENZE CON L'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO IDROELETTRICO

Come è stato illustrato nel precedente paragrafo, la realizzazione degli interventi in progetto avverrà in 7 fasi distinte. Alcune di esse (**Fasi 1, 3 e 4**) non prevedono la presenza dell'impresa appaltatrice presso l'opera di presa e di conseguenza durante queste lavorazioni non si può verificare alcun tipo di interferenza.

Le **Fasi 6 e 7** prevedono la presenza dell'impresa in cantiere, ma non quella di operatori subacquei presso l'opera di presa. In queste fasi dovranno quindi essere osservate le norme di sicurezza in cantiere, con particolare riferimento alle norme specifiche relative alle lavorazioni sugli impianti elettrici in bassa tensione. Qualora in queste fasi siano presenti anche altre imprese in cantiere, dovrà essere predisposto da parte di un professionista abilitato uno specifico Piano di Sicurezza e Coordinamento che normi la compresenza delle imprese in cantiere e individui le potenziali interferenze.

Per quanto concerne infine la **Fase 2 (ispezioni preliminari)** e la **Fase 5 (montaggio corpi illuminanti)** è assolutamente necessario che la produzione idroelettrica venga interrotta e che l'impianto sia messo in sicurezza. In particolare, la Fase 2 prevede una o due ispezioni spot della durata di alcune ore (in via preliminare sono state stimate in tutto 3 giornate lavorative), che possono essere facilmente calendarizzate in momenti in cui è possibile fermare l'impianto.

La **Fase 5** avrà invece una durata complessiva stimata in **15 giorni**: In questo periodo sarà necessario che EGP, partner del progetto LIFE, riveda la sua programmazione di produzione e di gestione dell'impianto in modo che ogni giorno ci sia una finestra di almeno 8 ore (eventualmente anche notturne), durante le quali l'impianto è fermo e le opere idrauliche vengono messe in sicurezza. In questa fase sarà necessario inoltre coinvolgere l'Ufficio dei Corsi d'Acqua del Canton Ticino, anch'esso partner del progetto LIFE, affinché rilasci dal Lago di Lugano una portata minima che non interferisca con l'esecuzione dei lavori subacquei.



6 OCCUPAZIONE DI AREE E AUTORIZZAZIONI NECESSARIE

L'intervento in progetto è da considerarsi come realizzazione di un nuovo impianto su una struttura edile esistente. In particolare l'intervento ricade interamente nel seguente fabbricato: Comune di Luino (VA), Sezione urbana di Luino, Foglio 12, particella 8829, di proprietà di Enel Produzione S.p.A. L'area prospiciente l'edificio in questione, rappresentata dall'invaso artificiale formato dalla diga, è di proprietà demaniale.

L'intervento in progetto:

- ✓ non comporta alcuna variazione nell'aspetto delle opere esistenti e quindi non ha effetti di tipo paesaggistico;
- ✓ non comporta alcuna variazione delle volumetrie, delle aperture e dell'aspetto degli edifici esistenti;
- ✓ non comporta variazioni d'uso delle strutture esistenti.

Sulla base di quanto appena esposto si ritiene che, al di là del consenso della proprietà dell'immobile, che in quanto partner del presente progetto LIFE ha stipulato specifici accordi e convenzioni per la realizzazione e la gestione dell'intervento in progetto, per la realizzazione delle opere in progetto non sia necessario ricedere alcun tipo di autorizzazione ulteriore.



7 QUADRO ECONOMICO DI SPESA

L'importo complessivo delle opere in progetto ammonta a **€. 190.000,00**, di cui €. 151.639,34 per lavori (compresi oneri sicurezza) ed €. 38.360,66 come somme a disposizione per la stazione appaltante.

Di seguito si riporta il quadro economico dei lavori in progetto.

QUADRO ECONOMICO			
LAVORI			
Allestimento e smantellamento cantiere	€		2 500,00
Quadro elettrico e impianto elettrico locale paratoie	€		18 793,87
Corpi illuminanti ed opere accessorie - Forniture	€		52 754,25
Corpi illuminanti ed opere accessorie - Manodopera	€		62 684,52
Test finali - Opere di completamento	€		2 732,99
Manutenzione materiali installati (2 anni)	€		11 087,45
Totale importo lavori (esclusi oneri sicurezza)	€		150 553,08
Oneri sicurezza (compresi nella stima dei lavori)	€		1 086,26
Totale importo lavori comprensivo di oneri di sicurezza	€		151 639,34
SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
I.V.A. sui lavori	22%	€	33 360,65
Incentivi per funzioni tecniche (RUP), art. 113 D. Lgs 50/2016	1,5%	€	2 274,59
Imprevisti e arrotondamento (compreso IVA)		€	2 725,42
Totale Somme a disposizione		€	38 360,66
TOTALE COMPLESSIVO		€	190 000,00

Varano Borghi, dicembre 2021

Ing. Massimo Sartorelli

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. VARESE
SARTORELLI
MASSIMO
n° 2096