Parco Ticino

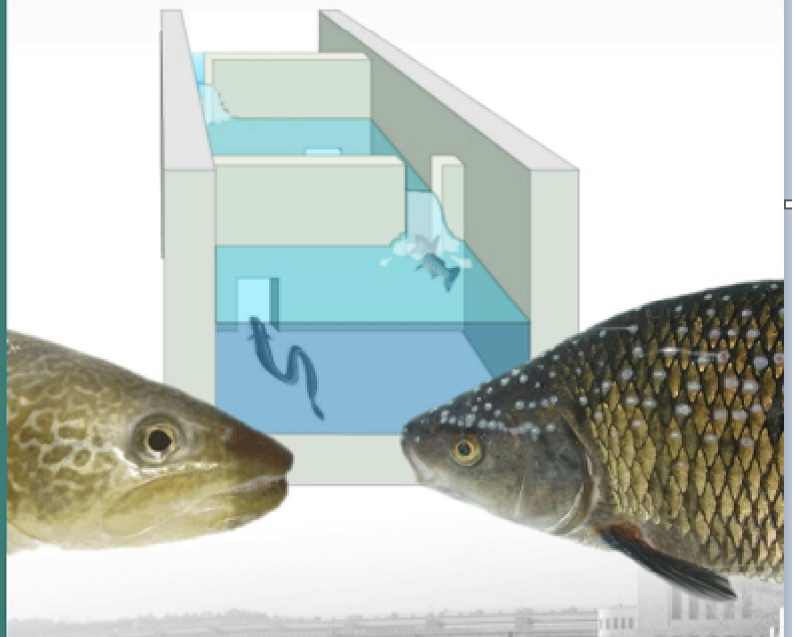
Sviluppo sostenibile, tutela della biodiversità e dell'ambiente, qualità della vita

Life- Natura

Conservazione di Salmo marmoratus e Rutilus pigus nel Fiume Ticino

AZIONE A.4

STUDI DI FATTIBILITA' PASSAGGI PER PESCI



Enel

L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.

G·R·A·I·A

RegioneLombardia

Qualità dell'Ambiente

Autore:

Ing. Massimo Sartorelli – GRAIA Srl

Hanno collaborato alla stesura del presente rapporto:

GRAIA Srl
(Gestione e Ricerca Ambientale Ittica Acque) Via Repubblica, 1
21020 Varano Borghi (VA)
(Dott. Cesare M. Puzzi, Ing. Beniamino Barenghi, Dott.ssa Stefania Trasforini)

Arch. Paola Parotti & Geom. Mirko Porta

SOMMARIO

Premessa 1

Struttura dello studio 2

La fauna ittica del fiume ticino 3

La continuità ecologica del Fiume Ticino 8

Gli sbarramenti interessati dallo studio 21

I passaggi artificiali per pesci 40

I passaggi artificiali per pesci da realizzare nei due sbarramenti .. 45

Soluzione proposta per porto della torre 55

Soluzione proposta per Panperduto 65

Il sistema di monitoraggio 73

Stima di massima dei costi di realizzazione delle opere 84

Bibliografia di riferimento 86

PREMESSA

In Italia, se si esclude il sistema di passaggi per pesci realizzato nel 1893 sul Fiume Adda, solamente negli ultimi 20 anni è cresciuto l'interesse in materia dei sistemi di risalita per i pesci.
Ad oggi esistono sul territorio nazionale numerose strutture realizzate negli ultimi anni soprattutto nel Nord Italia ed in particolare nel Nord Est ma restano esclusi da questi interventi i principali corpi idrici appartenenti all'area di studio, il Bacino del Fiume Ticino. I pochi passaggi esistenti si possono contare sulle dita di una mano e sono collocati su corsi d'acqua secondari.
La continuità ecologica dei fiumi in questo ambito è preclusa dall'esistenza di numerosi sbarramenti e tra questi gli unici due presenti (invalicabili e di tipo permanente) sull'asta principale del Fiume Ticino a valle del Lago Maggiore che precludono la risalita dei pesci sono quelli di Porto della Torre e di Panperduto.
In questo contesto si inserisce il presente studio che si pone quale obiettivo prioritario il ripristino della continuità ecologica sul Fiume Ticino che rappresenta una dei passi da compiere, insieme alla realizzazione del passaggio all'Isola Serafini, per collegare il Mare Adriatico al Lago Maggiore e ai suoi immissari.
L'Ente Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino, nell'ambito del Progetto Life2001nat/it/7268 denominato "Conservazione di *Salmo marmoratus* e *Rutilus pigus* nel Fiume Ticino", ha affidato all'Ing. Massimo Sartorelli lo studio di fattibilità dei passaggi agli sbarramenti di Porto della Torre e di Panperduto, il quale si è avvalso degli esperti della società GRAIA Srl per le competenze ambientali ed ittiologiche.
Il presente rapporto rappresenta il risultato conseguito attraverso un intenso lavoro di collaborazione, che ha visto coinvolti, oltre ovviamente all'Ente Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino e agli esecutori dello studio, i proprietari degli sbarramenti (ENEL Produzione e Consorzio di Bonifica Est Ticino – Villoresi); in particolare questi ultimi hanno fornito le necessarie informazioni alla stesura dello studio e si sono resi disponibili a collaborare nelle successive fasi progettuali e realizzative che ci si auspica possano seguire lo studio di fattibilità.

STRUTTURA DELLO STUDIO

Lo studio è stato articolato in più fasi (figura 1):

1. Inquadramento degli elementi ambientali e territoriali di riferimento, con particolare attenzione alla comunità ittica nel tratto in esame, alla morfologia dell'alveo fluviale, al regime idrologico (considerando anche i criteri di gestione delle derivazioni) e alle caratteristiche dei manufatti.
2. Individuazione, sulle base di quanto emerso nella fase di inquadramento, dei vincoli e delle condizioni al contorno indispensabili per la definizione degli interventi.
3. Selezione della tipologia di passaggio per pesci e relativo dimensionamento, impiegando i criteri indicati nella letteratura di settore; in questa fase vengono svolte le necessarie verifiche al fine di garantire un corretto funzionamento delle opere per differenti condizioni al contorno.

Figura 1: Schema di una corretta progettazione di un passaggio per pesci

LA FAUNA ITTICA DEL FIUME TICINO

La complessità ambientale del Fiume Ticino, analogamente a quanto avviene negli altri grandi fiumi di pianura che originano dai laghi profondi, permette alle comunità biologiche di esprimere una notevole biodiversità, che riguarda tutte le comunità, compresa ovviamente la comunità ittica.

È infatti importantissimo per il Ticino il fatto di avere degli scambi con un grande lago profondo, il Verbano, da cui devono poter andare e venire liberamente le specie che per vari motivi si spostano dalle acque correnti a quelle stagnanti; è importante la connessione al Po, con i possibili scambi e passaggi di pesci che frequentano il fiume della bassa pianura e che potrebbero anche risalire dal mare; è altrettanto rilevante mantenere la ricchezza di ambienti e di forme che si susseguono lungo il corso del fiume, passando da un primo tratto ritrale unicorsale, ad un tratto intermedio ancora di tipo ritrale, ma che si sviluppa con rami anastomizzati, ad un tratto terminale nuovamente unicorsale, in cui inizia ad alternare tratti ritrali a tratti potamali, in cui i fenomeni di deposizione prevalgono su quelli di erosione; oltre al corso principale vi sono poi gli ambienti laterali, rappresentati da lanche, risorgive, fontanili e rogge collegati al Ticino. L'estrema varietà ambientale è dunque il motivo per cui si rileva nel fiume anche una notevolissima varietà biologica: specie che necessitano di condizioni ambientali anche molto diverse possono trovarle in qualche tratto del fiume o della rete idrica ad esso collegata. La biodiversità, per quanto riguarda la comunità ittica, è data infatti da una sessantina di specie, comprendenti gran parte della fauna ittica autoctona originaria, ma anche molti pesci esotici introdotti in anni più o meno recenti, in parte acclimatati ed in espansione e in parte ancora sporadici.

I pesci del fiume, rilevati nel corso di una recente ricerca (Graia Srl, 1999[1]), o segnalati in altre pubblicazioni (Furlanetto et al., 1999[2]; Bisogni, 1989[3]), alcuni dei quali oggi estinti o non segnalati da molti

[1] Graia Srl, 1999. Ricerca sulla fauna ittica del Fiume Ticino.
[2] Furlanetto et al., 1999. Atlante della biodiversità nel Parco Ticino. Nodo libri.
[3] Bisogni G., 1989. Carta delle Vocazioni Ittiche e Piano Provinciale per la destinazione e l'uso delle acque pubbliche di competenza. Amm.ne Prov.le di Pavia.

anni, sono riportati in tabella 1. In figura 2 sono invece riportate le fotografie di alcune specie presenti nel Ticino.

Tabella 1: I pesci del Fiume Ticino

Famiglia	**Specie**	**Aut /All[4]**
Acipenseridi	Storione ladano (*Huso huso)*	Aut
	Storione comune (*Acipenser sturio*)	Aut
	Storione cobice (*Acipenser naccarii*)	Aut
Anguillidi	Anguilla (*Anguilla anguilla*)	Aut
Blennidi	Cagnetta (*Blennius fluviatilis*)	Aut
Centrarchidi	Persico sole (*Lepomis gibbosus*)	All
	Persico trota (*Micropterus salmoides*)	All
Ciprinidi	Alborella (*Alburnus alburnus alborella*)	Aut
	Alburno (*Alburnus alburnus*)	All
	Barbo comune (*Barbus barbus plebejus*)	Aut
	Barbo canino (*Barbus meridionalis*)	Aut
	Barbo "esotico" (*Barbus* sp.)	All
	Blicca (*Blicca bjoerkna*)	All
	Carassio comune (*Carassius carassius*)	All
	Carassio dorato o Pesce rosso (*Carassius auratus*)	All
	Carpa (*Cyprinus carpio*)	All
	Carpa erbivora o Amur (*Ctenopharingodon idellus*)	All
	Carpa a testa grossa (*Hypophthalmichthys molitrix*)	All
	Carpa argentata (*Hypophthalmichthys nobilis*)	All
	Cavedano (*Leuciscus cephalus*)	Aut
	Gardon o Rutilo (*Rutilus rutilus*)	All
	Gobione (*Gobio gobio*)	Aut
	Lasca (*Chondrostoma genei*)	Aut
	Pigo (*Rutilus pigus*)	Aut
	Pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*)	All
	Rodeo amaro (*Rhodeus sericeus*)	All
	Sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*)	Aut
	Savetta (*Chondrostoma soetta*)	Aut
	Scardola (*Scardinius erythrophthalmus*)	Aut
	Tinca (*Tinca tinca*)	Aut
	Triotto (*Rutilus erythrophthalmus*)	Aut
	Vairone (*Leuciscus souffia*)	Aut
Clupeidi	Agone (*Alosa fallax lacustris*)	Aut
	Cheppia (*Alosa fallax*)	Aut
Cobitidi	Cobite comune (*Cobitis taenia*)	Aut
	Cobite mascherato (*Sabanejewia larvata*)	Aut
	Cobite di stagno orientale (*Misgurnus anguillicaudatus*)	All
Cottidi	Scazzone (*Cottus gobio*)	Aut

[4] Aut: Autoctona; All: Alloctona

Famiglia	Specie	Aut /All[4]
Esocidi	Luccio (*Esox lucius*)	Aut
Gadidi	Bottatrice (*Lota lota*)	Aut
Gasterosteidi	Spinarello (*Gasterosteus aculeatus*)	Aut
Gobidi	Ghiozzo padano (*Padogobius martensii*)	Aut
	Ghiozzo puntato o Panzarolo (*Orsinigobius punctatissimus*)	Aut
Ictaluridi	Pesce gatto (*Ictalurus melas*)	All
	Pesce gatto punteggiato (*Ictalurus punctatus*)	All
Pecilidi	Gambusia (*Gambusia holbrooki*)	All
Percidi	Acerina (*Gymnocephalus cernuus*)	All
	Lucioperca o Sandra (*Stizostedion lucioperca*)	All
	Pesce persico (*Perca fluviatilis*)	Aut
Petromizontidi	Lampreda di mare (*Petromyzon marinus*)	Aut
	Lampreda padana (*Lampetra zanandreai*)	Aut
	Lampreda di ruscello) (*Lampetra planeri*)	Aut
Pleuronettidi	Passera di mare (*Platichthys flesus*)	Aut
Salmonidi	Trota marmorata (*Salmo (trutta) marmoratus*)	Aut
	Trota fario (*Salmo (trutta*) *trutta*)	All
	Trota lacustre (*Salmo (trutta*) *trutta*)	Aut
	Trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*)	All
	Salmerino di fontana (*Salvelinus fontinalis*)	All
	Coregone (*Coregonus* spp.*)*	All
	Temolo (*Thymallus thymallus*)	Aut
Siluridi	Siluro (*Silurus glanis*)	All

Rispetto alla comunità ittica fluviale originaria si sono ovviamente aggiunte tutte le specie esotiche, ma sono state anche perse alcune specie, considerate oggi estinte dal Ticino, segnalate nel 1896 (Pavesi, 1896[5]). Si tratta, nella loro totalità, di specie grandi migratrici, che risalivano stagionalmente dal Mare Adriatico a fini trofici o riproduttivi ed oggi, per la presenza dello sbarramento di Isola Serafini che ostruisce il Fiume Po appena a monte della confluenza dell'Adda ed è sprovvisto di passaggio per pesci, non possono più raggiungere il Ticino ed il resto del reticolo idrico colonizzabile localizzato a monte di tale sbarramento. Le citate specie ittiche sono:

Famiglia	Specie
Acipenseridi	Storione ladano (*Huso huso*)
	Storione comune (*Acipenser sturio*)
Clupeidi	Cheppia (*Alosa fallax*)
Pleuronettidi	Passera di mare (*Platichthys flesus*)
Petromizontidi	Lampreda di mare (*Petromyzon marinus*)

[5] Pavesi P., 1896.La distribuzione dei pesci in Lombardia. Società Lombarda per la Pesca e l'Acquacoltura. Tip. F.lli Fusi, Pavia.

Il pregio della comunità ittica fluviale è ulteriormente avvalorato dalla presenza di 14 specie ittiche di interesse comunitario, comprese nell'elenco di cui all'Allegato B della "Direttiva Habitat", DPR 8 settembre 1997 n.357, attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatiche. Esse sono:

Famiglia	**Specie**
Acipenseridi[6]	Storione cobice (*Acipenser naccarii*)
	Storione comune (*Acipenser sturio*)
Ciprinidi	Barbo canino (*Barbus meridionalis*)
	Barbo comune (*Barbus barbus plebejus*)
	Lasca (*Chondrostoma genei*)
	Pigo (*Rutilus pigus*)
	Savetta (*Chondrostoma soetta*)
	Vairone (*Leuciscus souffia*)
Clupeidi	Cheppia (*Alosa fallax*)
	Agone (*Alosa fallax lacustris*)
Cobitidi	Cobite comune (*Cobitis taenia*)
	Cobite mascherato (*Sabanejewia larvata*)
Cottidi	Scazzone (*Cottus gobio*)
Salmonidi	Trota marmorata (*Salmo (trutta) marmoratus*)

Figura 2: Alcune specie ittiche autoctone del Fiume Ticino

Storione cobice (*Acipenser naccarii*)

Anguilla (*Anguilla anguilla*)

Trota lacustre (*Salmo (trutta) trutta*)

Trota marmorata (*Salmo (trutta) marmoratus*)

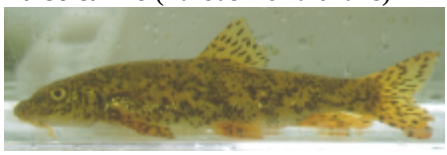
Temolo (*Thymallus thymallus*)

Pigo (*Rutilus pigus*)

[6] Entrambi gli storioni citati sono inoltre contrassegnati nella Direttiva dall'asterisco che individua le specie prioritarie

Barbo canino (*Barbus meridionalis*)

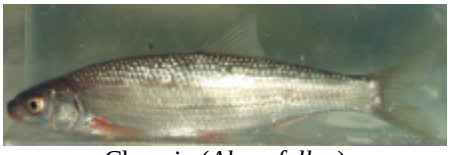
Barbo comune (*Barbus barbus plebejus*)



Alborella (*Alburnus alburnus alborella*)

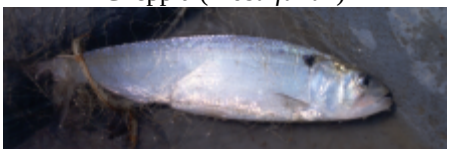
Lasca (*Chondrostoma genei*)

Vairone (*Leuciscus souffia*)



Cheppia (*Alosa fallax*)

Cobite mascherato (*Sabanejewia larvata*)



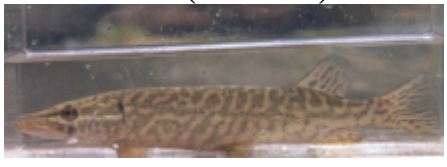
Cobite comune (*Cobitis tenia*)

Lampreda (*Lampetra zanandreai*)

Scazzone (*Cottus gobio*)

Luccio (*Esox lucius*)

Pesce persico (*Perca fluviatilis*)



LA CONTINUITÀ ECOLOGICA DEL FIUME TICINO

SBARRAMENTI FLUVIALI E SCALE DI RISALITA PER PESCI[7]

La maggior parte delle specie ittiche, seppure con modi e tempi estremamente differenti, effettua spostamenti lungo i corsi d'acqua. Questi spostamenti possono avvenire nell'arco temporale di una giornata, di una stagione, di un anno o di più anni. Ogni specie dunque si sposta lungo l'asta fluviale secondo le sue necessità, che fondamentalmente sono di carattere trofico o riproduttivo e possono compiersi nell'ambito del bacino idrografico oppure da o per il mare (figura 3).

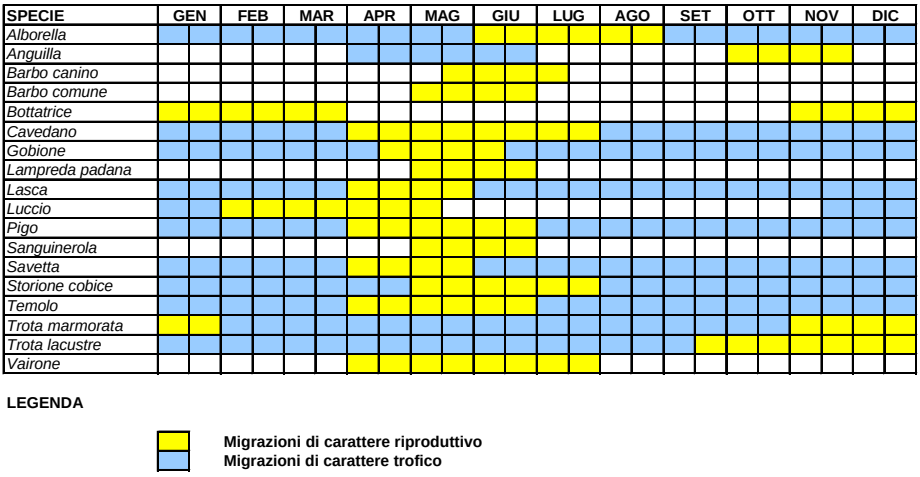
Quando le migrazioni comportano il passaggio dall'acqua dolce ove si è realizzato l'accrescimento, all'acqua di mare ove avverrà la riproduzione, si parla di specie catadrome, di cui la più nota e la più importante è l'anguilla (*Anguilla anguilla*). Nel caso opposto, quando per riprodursi una specie risale i corsi d'acqua dopo essersi accresciuta in mare, si parla di specie anadrome, alle quali appartengono ad esempio i salmoni (*Salmo salar, Oncorhynchus sp*.) e gli storioni (*Huso huso, Acipenser spp*.).

Oltre a questi grandi migratori in grado di percorrere migliaia di chilometri, numerose specie si spostano, spinte da esigenze diverse, per tratti più modesti, rimanendo all'interno del medesimo corso d'acqua. Un tipico esempio è quello delle trote (trota marmorata: *Salmo (trutta) marmoratus*, trota fario: *Salmo (trutta) trutta*) che compiono brevi spostamenti nell'arco della giornata per raggiungere le zone di caccia, molto vicine alle zone di rifugio, mentre effettuano spostamenti verso monte di maggiore entità all'approssimarsi del periodo riproduttivo, per raggiungere aree caratterizzate da parametri chimici, fisici e strutturali più idonei alla deposizione delle uova. Anche in ambiente lacustre si verificano notevoli migrazioni nell'ambito dello stesso lago oppure verso i corsi d'acqua ad esso collegati. Ad esempio i coregoni (*Coregonus spp*.) compiono

7 Parte del testo di questo capitolo è stato tratto dalla "Ricerca sulla fauna ittica del Fiume Ticino" (Graia Srl, 1999).

migrazioni verticali stagionali lungo la colonna d'acqua, localizzandosi alle profondità più idonee dal punto di vista termico ed alimentare. Altro esempio è quello della trota lacustre che risale gli immissari anche per lunghi tratti per raggiungere le zone di riproduzione. In misura minore risalgono gli immissari alcuni Ciprinidi, come il cavedano (*Leuciscus cephalus*) e l'alborella (*Alburnus alburnus*), nonché specie appartenenti ad altre famiglie, ad esempio la bottatrice (*Lota lota*).

Figura 3: Periodi in cui le specie ittiche del Fiume Ticino effettuano migrazioni



OSTACOLO ALLE MIGRAZIONI

Alla luce di tutto questo appare evidente che l'interruzione di un corso d'acqua, oltre alle modificazioni strutturali che comporta e alle trasformazioni dell'ambiente acquatico che essa determina, tali a volte da sovvertirne la stessa vocazionalità ittica, rappresenta sicuramente un ostacolo spesso insormontabile per le migrazioni della fauna ittica.
Ovviamente le specie che subiscono i danni maggiori sono le grandi migratrici, ossia quelle che dal mare devono risalire i corsi d'acqua per lunghi tratti, a scopo sia alimentare che riproduttivo. I problemi sussistono anche nel senso contrario, ossia nella discesa dal fiume al mare, per la frequente presenza di turbine e l'alterazione della velocità di corrente, che rappresenta uno dei principali stimoli alla discesa a mare, con dilatazione dei tempi necessari per l'arrivo al mare. Il problema della discesa può essere però più facilmente superato traendo profitto dalle piene, allorché la diga o lo sbarramento vengono "bypassati" a motivo delle portate molto elevate. Queste, di contro,

difficilmente consentono la risalita, in quanto i valori di velocità della corrente soverchiano molto spesso le pur eccellenti capacità natatorie dell'ittiofauna.

GLI SBARRAMENTI DEL TICINO

La presenza di sbarramenti lungo il corso del Ticino e a valle di esso è all'origine della scomparsa di alcune specie ittiche e del danneggiamento di altre, come riportato nel seguente prospetto.

Specie scomparse dal Ticino principalmente a causa degli sbarramenti	**Specie danneggiate dalla presenza degli sbarramenti sul Ticino**
Cheppia (*Alosa fallax*)	Alborella (*Alburnus alburnus alborella*)
Lampreda di mare (*Petromyzon marinus*)	Barbo canino (*Barbus meridionalis*)
Storione comune (*Acipenser sturio*)	Barbo comune (*Barbus plebejus*)
Storione ladano (*Huso huso*)	Bottatrice (*Lota lota*)
	Cavedano (*Leuciscus cephalus*)
	Gobione (*Gobio gobio*)
	Lampreda padana (*Lampetra zanandreai*)
	Lasca (*Chondrostoma toxostoma*)
	Luccio (*Esox lucius*)
	Pigo (*Rutilus pigus*)
	Sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*)
	Savetta (*Chondrostoma soetta*)
	Temolo (*Thymallus thymallus*)
	Vairone (*Leuciscus souffia*)
	Trota marmorata (*Salmo (trutta) marmoratus*)
	Trota lacustre (*Salmo (trutta) trutta*)
	Anguilla (*Anguilla anguilla*)
	Storione cobice (*Acipenser naccarii*)

Sul corso del Ticino sono situati tre sbarramenti fissi ed alcuni sbarramenti mobili ("filarole").
Gli sbarramenti fissi sono:

- la diga della Miorina;
- la diga di Porto della Torre;
- la diga di Panperduto.

Gli sbarramenti mobili o filarole vengono costruiti nei periodi di magra del fiume con massi e ciottoli prelevati in alveo e successivamente abbattuti dalle morbide e dalle piene del fiume.

DIGA DELLA MIORINA

La diga della Miorina è uno sbarramento fisso finalizzato a regolare il livello del Lago Maggiore, dal quale non viene effettuato alcun prelievo idrico. Stante la tipologia di questo sbarramento, le cui porte vengono abbassate a seconda del quantitativo d'acqua da far defluire nel fiume, il suo superamento da parte dei pesci risulta piuttosto facile indipendentemente dalla specie cui appartengono.
Di conseguenza la sua presenza non incide in modo particolarmente negativo sugli spostamenti dell'ittiofauna. Piuttosto il rallentamento del flusso idrico che si verifica a monte potrebbe ridurre lo stimolo alla discesa di una specie catadroma come l'anguilla, e dei giovani di specie anadrome quali lo storione e la cheppia, originariamente rappresentate in questo tratto.

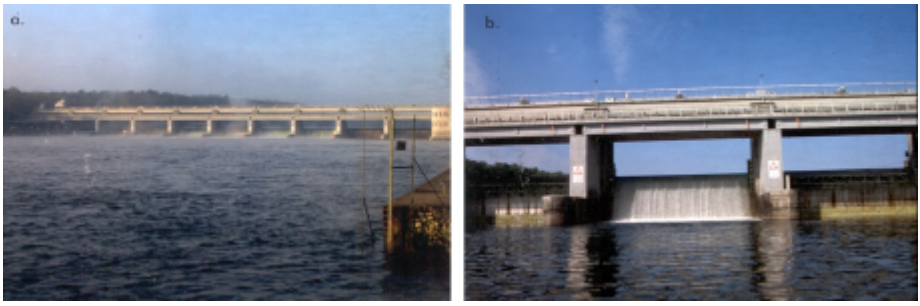
Figura 4: Diga della Miorina – a) veduta generale, b) particolare

DIGA DI PORTO DELLA TORRE

La diga di Porto della Torre è uno sbarramento fisso finalizzato alla produzione idroelettrica e a garantire l'alimentazione del Canale Regina Elena, mantenendo il livello di monte a 192,5 m s.l.m.. In corrispondenza di essa può venire turbinata una portata massima di 180 m^3/s.
Lo sbarramento è costituito da 9 paratoie doppie, comprendenti ognuna una paratoia superiore ed una inferiore. In dipendenza dalle portate che defluiscono dal Lago Maggiore, per mantenere il livello di monte, si possono fare defluire le portate in eccesso da una o più delle 9 paratoie, partendo da quelle centrali, abbassando la paratoia superiore o alzando quella inferiore. In caso di piene particolarmente importanti, dell'ordine dei 1.500 m^3/s, possono essere sollevate entrambe le paratoie.

Lo sbarramento risulta pressoché invalicabile per la fauna ittica migratrice, venendo le paratoie completamente sollevate soltanto in casi eccezionali e cioè in coincidenza con piene piuttosto rare durante le quali i pesci sono impegnati a trovare un rifugio per non essere trascinati a valle, piuttosto che a risalire; e nel caso di un loro sollevamento parziale, che si verifica anch'esso in poche occasioni, risulta difficile per i pesci contrastare la forza dell'acqua spinta dall'invaso di monte attraverso un'apertura di fondo delle paratoie stesse.

Figura 5: Diga di Porto ella Torre – a) veduta generale, b) paratoie



Ostacolo alla risalita delle anguille

Relativamente ai pesci che cercano di risalire questa diga, nel corso della ricerca del 1999 sono stati ottenuti riscontri oggettivi particolarmente significativi concernenti l'anguilla. Questa è risultata essere la specie dominante nella stazione di campionamento localizzata tra gli sbarramenti di Porto della Torre e di Panperduto, dove è presente quasi esclusivamente allo stadio di "ragani" (ossia anguille di piccole dimensioni, intorno ai 20-25 cm) in evidente fase di risalita lungo l'asta fluviale. Questa sua particolare abbondanza è da porre sicuramente in rapporto all'invalicabilità dell'ostacolo rappresentato dalla diga ENEL, sprovvista di passaggio di risalita. Dal canto suo la diga di Panperduto, sebbene sprovvista anch'essa di passaggio per pesci, può essere superata dai ragani attraverso la Roggia Mazza, che l'aggira sulla sponda piemontese.
La situazione sopra delineata è stata confermata dalle osservazioni subacquee, condotte nel tratto sottostante la diga. Qui infatti, immediatamente a valle delle paratoie, sono stati individuati in pieno giorno numerosissimi ragani di anguilla, il che, considerate le abitudini strettamente notturne dell'anguilla, è indicativo di una situazione

indiscutibilmente anomala. Le osservazioni subacquee effettuate sotto le paratoie dello sbarramento hanno altresì evidenziato un comportamento inequivocabile degli stessi ragani, ossia il loro continuo, vano tentativo di infilarsi nelle piccole perdite d'acqua delle paratoie al fine di superarle, comportamento questo presentato anche dai cavedani.

Mortalità ittica dovuta alla turbina

Esiste poi un altro tipo di danno determinato da questo sbarramento a carico della fauna ittica migratrice e cioè la mortalità dovuta alla turbina. Poiché la portata del Ticino viene, a seconda del momento stagionale, completamente o in buona parte utilizzata per la produzione idroelettrica, essa viene fatta passare attraverso turbina unitamente ai pesci che stanno scendendo lungo il fiume. Anche in questo caso la specie che oggi risulta maggiormente penalizzata è l'anguilla, i cui esemplari adulti presenti nei corpi idrici del grandissimo bacino posto a monte di Porto della Torre discendono il Ticino per raggiungere la loro area riproduttiva situata nel Mar dei Sargassi. Le anguille adulte, in conseguenza della loro forma allungata e della loro lunghezza, vengono in grande numero uccise dal passaggio in turbina, per rottura della colonna vertebrale. 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 a 10-30 m/s al suo interno)
- forti variazioni di pressione.

Numerosi studi sono stati condotti a livello internazionale (Bell, 1991; Monten, 1985; Montreal Engineering Company, 1981; EPRI, 1987; Larinier et 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. Fra le turbine di uso più comune abbiamo le Francis e le Kaplan, queste ultime utilizzate nella centrale idroelettrica di Porto della Torre. 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
- taglia del pesce.

Per quanto riguarda i Salmonidi allo stadio giovanile, la mortalità risulta variare dal 5% fino ad oltre il 90% nelle turbine Francis (una di queste, ad esempio, è installata nella centrale di Vizzola Ticino, alimentata dal Canale Industriale); tra il 5% e il 20% nelle Kaplan (una è installata, oltre che a Porto della Torre, anche nella centrale di Tornavento).
La mortalità è mediamente ancora maggiore per le anguille, a causa della loro lunghezza, e per i Ciprinidi, che presentano una ridotta resistenza alle variazioni di pressione.
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.
L'applicazione di questa formula alla turbina Kaplan di Porto della Torre, la cui girante è formata da 4 pale, con un diametro pari a 6,1 metri, porta, per i giovani salmonidi e per le anguille adulte ai risultati riportati nel prospetto che segue. Il parametro esp, non conoscendosi la forma esatta della pala, è stato da noi collocato fra 1 e 2, talché i valori di mortalità qui calcolati vanno considerati come il minimo e il massimo atteso.

Tabella 2: Tasso di mortalità atteso, secondo il modello di Larinier e Dartiguelongue, per la turbina di Porto della Torre

Salmonidi			*Anguilla*		
LT (cm)	min (%)	max (%)	LT (cm)	min (%)	max (%)
3	11.68	12.76	50	27.08	45.1
6	12.67	14.83	60	30.36	51.98
9	13.65	16.89	70	33.63	58.86
12	14.63	18.96	80	36.91	65.74
15	15.61	21.02	90	40.19	72.62

Per limitare i danni causati dal passaggio in turbina possono essere utilizzati diversi stratagemmi, fondamentalmente riconducibili alle seguenti categorie:

1. Barriere comportamentali
2. Barriere fisiche
3. Meccanismi di diversione dei pesci
4. Meccanismi di cattura dei pesci.

La scelta di un accorgimento piuttosto che di un altro va effettuata con uno specifico studio condotto sul singolo sbarramento, tenendo conto della tipologia della derivazione idrica, del salto, del tipo di turbina, delle grandezze fisiche in gioco e delle specie ittiche interessate.

DIGA DI PANPERDUTO

La diga di Panperduto è uno sbarramento fisso finalizzato ad alimentare il Canale Villoresi ed il Canale Industriale. Essa è sprovvista di passaggio di risalita per i pesci e, anche a motivo del suo profilo concavo, risulta invalicabile alla fauna ittica in risalita. A differenza di Porto della Torre essa non pone problemi di mortalità ittica legati al passaggio nella turbina; sussistono tuttavia gravi problemi di disponibilità d'acqua a valle dello sbarramento nei periodi di magra, in quanto la portata fluviale viene derivata nella sua quasi totalità nei canali Industriale e Villoresi.
Il fatto di aver riscontrato grandi quantità di novellame di anguilla a monte della diga sta a significare che lo sbarramento, almeno per questa specie, risulta in qualche modo superabile. In effetti, informazioni fornite da pescatori e guardapesca testimoniano l'esistenza di un collegamento aggirante la diga in sponda piemontese.

Figura 6: Diga di Panperduto - a) portata di piena, b) portata di magra

Essa è stata confermata nel corso della citata ricerca da un sopralluogo eseguito con tecnici e agenti di vigilanza del Parco Piemontese e Lombardo, nonché con personale della sezione FIPSAS di Novara: nel corso di esso, infatti, è stata accertata l'esistenza di una roggia, riportata anche sulle mappe catastali col nome di Roggia Mazza, che

collega l’invaso immediatamente a monte della diga con il fiume in sponda destra, a qualche centinaio di metri a valle della diga stessa. La roggia non avrebbe dislivelli e salti tali da impedire il passaggio del pesce, ma inspiegabilmente vi è stato costruito un doppio sbarramento fisso con griglia metallica a maglia fitta che ne ha isolato un tratto in corrispondenza di un ristorante ad essa prospiciente, che lo utilizza a fini di pesca sportiva.
La presenza della Roggia Mazza consente il superamento della diga da parte dei ragani di anguilla, ma lo sbarramento sopra descritto lo impedisce alle specie ittiche il cui diametro corporeo superi la luce delle maglie della griglia, ossia alla totalità delle altre specie migratrici. Questo collegamento idrico non può certamente svolgere le funzioni di un passaggio per pesci, il cui imbocco per essere attirante deve essere molto più vicino alla diga. Tuttavia pare opportuno avviare le verifiche e le azioni per liberarlo dagli sbarramenti ora esistenti, permettendo quindi anche in sponda destra l’esistenza di un passaggio per pesci, ancorché scarsamente funzionale.
Nel corso dei sopralluoghi è stata inoltre constatata la presenza di un’antica scala di risalita del tipo “a bacini successivi”, che collegava il ramo sinistro del Ticino a valle della diga con il bacino del Villoresi; da questo bacino i pesci in risalita avrebbero potuto proseguire verso monte attraverso la conca di navigazione.
Attualmente la scala è completamente inservibile per lo stato di totale abbandono in cui versa, per la costruzione in tempi relativamente recenti di un contrafforte di stabilizzazione del bacino stesso che l’ha interrotta ed il crescere rigoglioso della vegetazione boschiva in essa. Per il fatto di essere comunque stata costruita sul ramo fluviale di minore importanza e soprattutto per essere il suo imbocco di valle molto distante dalla diga e l’uscita di monte in un bacino da cui si dipartono due importantissimi canali, la scala anche nel suo pieno funzionamento probabilmente non era efficace.

Figura 7: Roggia Mazza: griglia di sbarramento

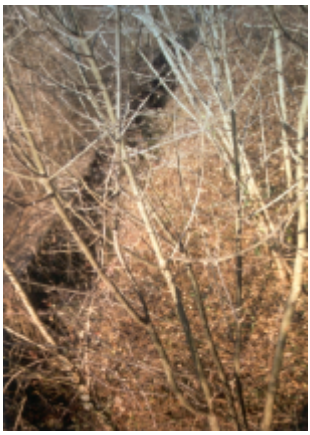


Figura 8: Panperduto: scala di risalita a bacini successivi ormai in disuso, posta in sponda orografica sinistra del Fiume Ticino

LE FILAROLE

Le filarole, o dighe mobili, sono sbarramenti costruiti stagionalmente durante il periodo primaverile - estivo per derivare l'acqua in canali di irrigazione. Esse vengono costruite con massi, ciottoli e ghiaia prelevati dal fiume ed accumulati a formare un diga che "invita" l'acqua nel canale di derivazione. Stante la loro struttura le filarole vengono ad essere abbattute dalle portate di morbida e di piena.
Il superamento delle filarole da parte della fauna ittica in migrazione verso monte non presenta particolari difficoltà, in particolare dopo l'accordo che - quantomeno per le filarole gestite dall'ENEL- prevede un passaggio profilato nella filarola stessa, tale da concentrare la portata in una sezione ridotta e quindi determinare un battente d'acqua di un certo spessore. Il problema principale, comunque, è dato dalla quantità d'acqua rilasciata a valle delle filarole, che rimane estremamente esigua. Infatti il collegamento monte - valle viene sì garantito da questo deflusso, ma i pesci situati nel tratto fluviale a valle che ne possono usufruire risultano pesantemente penalizzati - in termini di biomassa e di numero di specie- dalla scarsità dell'acqua rilasciata.

Figura 9: Nosate (VA): a) filarola in funzione; b) filarola abbattuta

IL CORRIDOIO ECOLOGICO

Da tutto quanto esposto nelle pagine precedenti, si può dedurre che i due sbarramenti fissi di Panperduto e di Porto della Torre rappresentano le due vere discontinuità dell'asta fluviale del Ticino sublacuale.

Consentire ai pesci il loro superamento, attraverso la realizzazione dei passaggi artificiali per pesci rappresenta quindi un notevole miglioramento ambientale per un reticolo idrografico di notevole estensione, permettendo l'accesso all'immenso bacino del Verbano e dei suoi tributari.

Resta da risolvere il superamento dell'ultimo sbarramento che frammenta il fiume nella sua continuità con il Mare Adriatico: lo sbarramento del Fiume Po ad Isola Serafini. Tale diga è ancora oggi il limite superiore di distribuzione della migrazione della cheppia e del cefalo calamita, che annualmente dal Mare Adriatico risalgono il Po e i tratti terminali dei tributari percorribili, ma giunti alla diga di Isola Serafini non possono ovviamente andare oltre. Da informazioni raccolte presso l'Agenzia Regionale di Navigazione Interna (ARNI) dell'Emilia Romagna (Galvani, com. pers., 2002) sembra però che il problema dello sbarramento invalicabile ai pesci possa avere una soluzione nei prossimi anni. E infatti stato raggiunto un accordo fra la Regione Emilia Romagna, la Provincia di Piacenza, l'ARNI e l'ENEL con il quale è stata incaricata la stessa ENEL per la redazione del progetto definitivo-esecutivo della nuova conca di navigazione presso la diga, e per la realizzazione di un passaggio artificiale per pesci. La consegna del progetto è prevista entro la fine del 2003 e la sua realizzazione, già finanziata, entro i successivi tre anni. Ciò significa che, presumibilmente, entro la fine del 2006 sarà realizzato il passaggio per pesci ad Isola Serafini.

Quando saranno realizzati i passaggi per pesci alla diga di Isola Serafini e ai due sbarramenti del Ticino in questione, sarà nuovamente reso percorribile il corridoio fluviale compreso fra il Verbano ed il mare (figura 10).
Merita però qui ricordare che anche nel bacino imbrifero a monte del Verbano sono in corso iniziative per aumentare la continuità ecologica del reticolo idrico di superficie, ampliando quindi il corridoio fluviale anche verso altri corpi idrici di notevole estensione ed importanza, a tutto vantaggio ad esempio della trota marmorata e dell'anguilla.
Tale reticolo comprende:

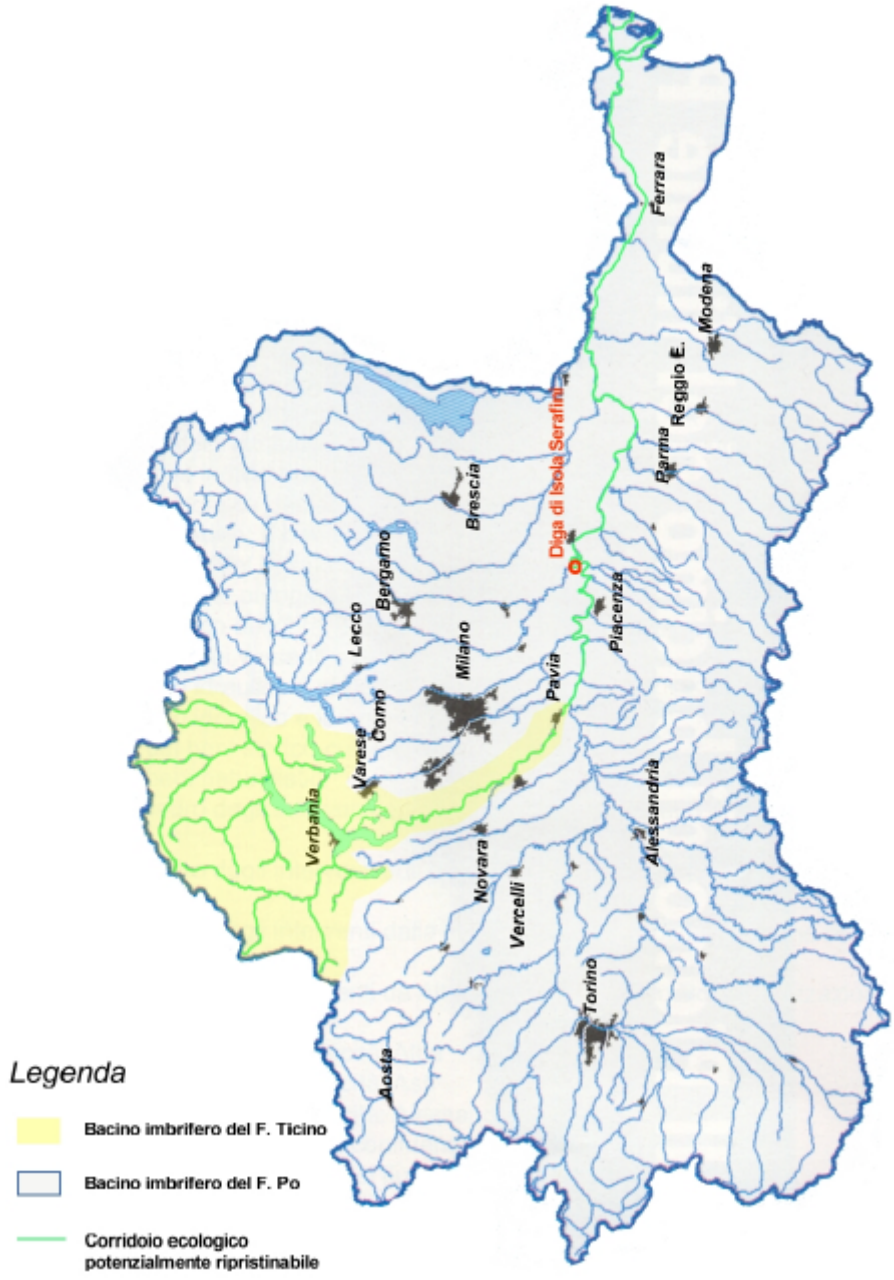
- il Fiume Ticino prelacuale, quantomeno fino a Bellinzona, con i tributari Moesa (compreso un tratto del Canton Grigioni) e Brenno
- il Fiume Toce e i tratti terminali di alcuni suoi tributari, compresi il Torrente Strona ed il Lago d'Orta
- il Canale ed il Lago di Mergozzo
- i tratti terminali dei tributari del Verbano
- il Fiume Tresa ed il Lago di Lugano
- il Fiume Ticino sublacuale.

Esso è attualmente frammentato dalla presenza di sbarramenti che ne impediscono la libera percorribilità da parte dei pesci. A tal proposito sono state avviate importanti iniziative per ristabilire la percorribilità del reticolo e che quindi assumono carattere di sinergia con il progetto di cui si tratta in questa sede:

1. il Piano per il ripristino della continuità biologica dei corsi d'acqua della Provincia di Varese (incarico affidato a Graia dopo asta pubblica), tra le cui priorità presumibilmente vi sarà il Fiume Tresa, con la diga di Creva e lo sbarramento di Ponte Tresa
2. il passaggio per pesci che sarà realizzato entro breve alla soglia del Lago di Mergozzo (il progetto esecutivo, redatto dall'ing. Sartorelli, è già stato approvato).

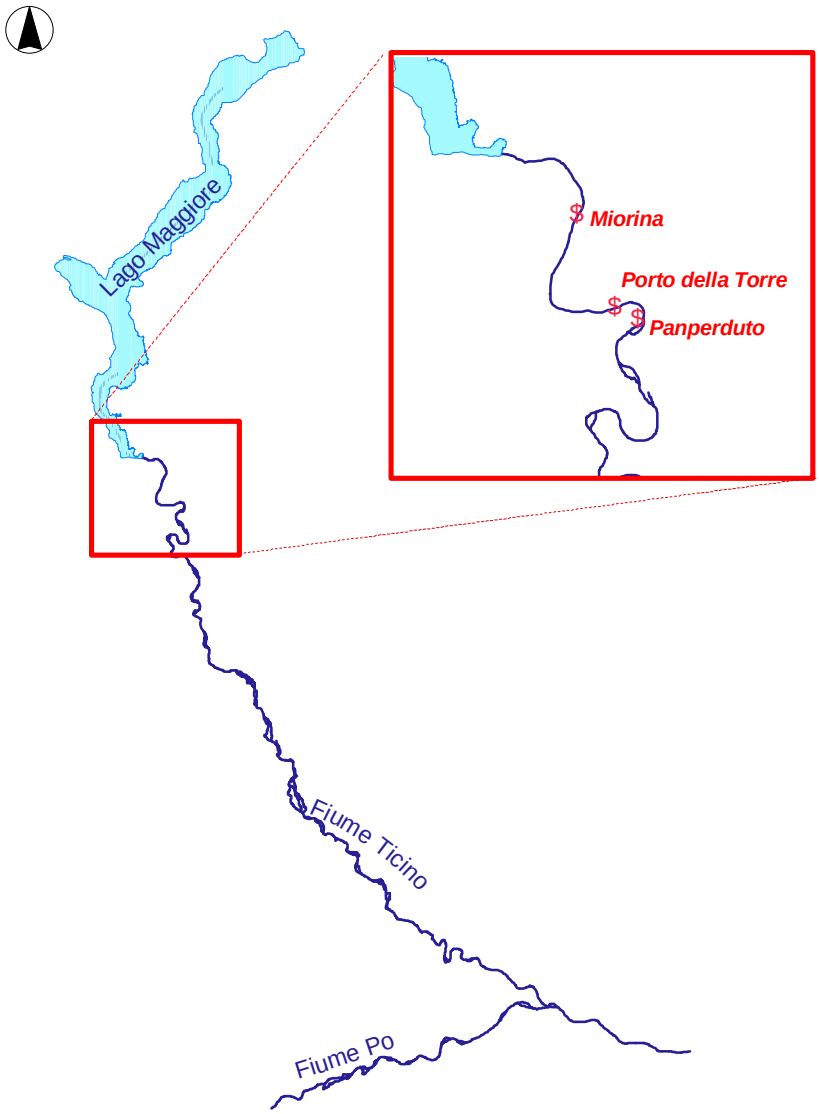
Mancano dati sulla frammentazione del reticolo, con l'individuazione e la caratterizzazione degli sbarramenti invalicabili e le successive iniziative per dotarli di passaggi per pesci, ma è evidente che ripristinare un corridoio ecologico di queste dimensioni è un'operazione complessa, che deve essere vista in un'ottica di bacino idrografico e coinvolgere molti Enti pubblici e privati, ma che oggi è stata avviata affrontando due sbarramenti di grandi dimensioni, il cui superamento fungerà da esempio e stimolo per tutti gli altri di minor dimensione.

Figura 10: Il corridoio ecologico formato da fiumi Po e Ticino



GLI SBARRAMENTI INTERESSATI DALLO STUDIO

Come è già stato esposto nel capitolo precedente, sul tratto di Fiume Ticino a valle del Lago Maggiore sono presenti tre sbarramenti permanenti:



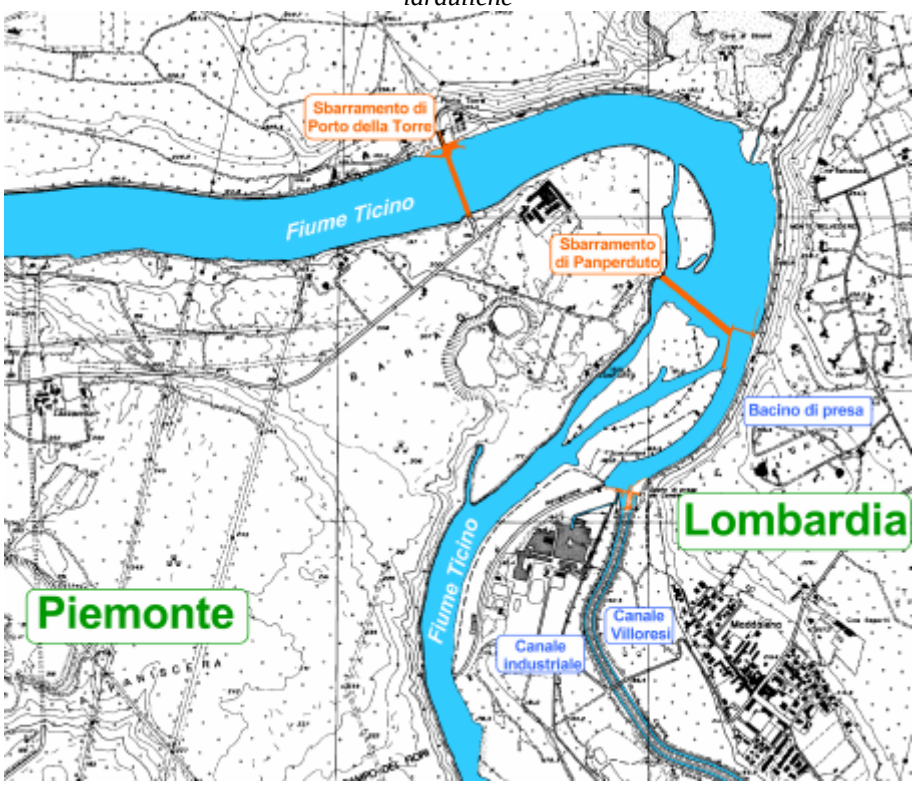
- la diga della Miorina;
- la diga di Porto della Torre;
- la diga di Panperduto;

Questi sono concentrati nel tratto di fiume immediatamente a valle del Lago Maggiore: la diga della Miorina si trova 3,5 km a valle rispetto al ponte di Sesto Calende, quella di Porto della Torre 6 km a valle della Miorina e lo sbarramento di Panperduto si trova infine 1,5 km a valle rispetto a Porto della Torre.

La diga della Miorina ha l'unico scopo di regolare i livelli del Lago Maggiore ed è costituita da una schiera di porte che vengono regolate in base al quantitativo d'acqua che è necessario far defluire nel Ticino. La tipologia di questo sbarramento è tale che esso non costituisce un ostacolo insormontabile per i pesci che risalgono il fiume.

Gli sbarramenti di Porto della Torre e di Panperduto costituiscono dunque gli unici elementi di discontinuità permanenti presenti tra il Lago Maggiore (ed il suo vasto bacino imbrifero) ed il Fiume Po.

Figura 11: Localizzazione degli sbarramenti e delle altre opere idrauliche



I due sbarramenti in questione si trovano poi ad una distanza ravvicinata e tra loro il fiume forma un largo bacino in cui la corrente ha normalmente una velocità assai ridotta. In base a quanto esposto sino ad ora e nel precedente capitolo, si capisce perché il presente studio è stato orientato su queste due dighe e come la realizzazione di entrambi i passaggi ripristini un corridoio ecologico di notevoli dimensioni. Nelle prossime pagine è presentata una descrizione dei due sbarramenti considerati, specificando le finalità, la dimensione delle opere e i criteri di gestione.

LA TRAVERSA DI PORTO DELLA TORRE

LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE DEI MANUFATTI

Lo sbarramento di Porto della Torre è il più a monte dei due considerati. Si tratta di uno sbarramento fisso per la produzione di energia elettrica, dove l'acqua viene immessa nel fiume immediatamente a valle dello sbarramento (figura 12). La diga ha inoltre lo scopo di mantenere un livello tale da garantire l'alimentazione del canale Regina Elena, il cui punto di presa è a monte dello sbarramento di Porto della Torre.
Lo sbarramento è costituito da una schiera di nove paratoie doppie, per una lunghezza complessiva di circa 200 metri, ognuna delle quali comprende una paratoia superiore ed una inferiore. In base alle portate che defluiscono dal Lago Maggiore (già regolato alla Miorina), per mantenere il livello di monte costante, le paratoie possono essere aperte o abbassando la paratoia superiore o alzando quella inferiore. In caso di piene eccezionali (superiori a 1.500 m^3/s), è possibile alzare entrambe le paratoie.
La centrale idroelettrica può turbinare una portata massima di 180 m^3/s: tale valore viene mantenuto regolando il livello di monte mediante le paratoie: normalmente a monte dello sbarramento il livello è pari a 192,5 m s.l.m..

Figura 12: Schema dei flussi idrici e dei livelli a monte e a valle dello sbarramento di Porto della Torre

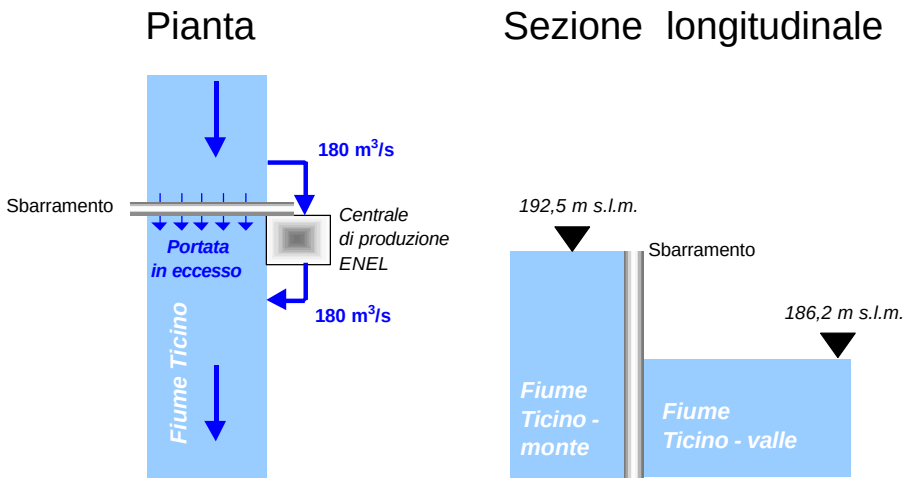


Figura 13: Sbarramento di Porto della Torre: in alto sbarramento e centrale idroelettrica, in basso a sinistra dettaglio del punto di presa, in basso a destra dettaglio del punto di restituzione

La produzione di energia elettrica avviene mediante una turbina Kaplan, che lavora su un salto di poco più di 6 metri. La girante è

formata da 4 pale ed ha un diametro di 6,1 metri. La centrale idroelettrica è attualmente gestita da ENEL Produzione S.p.A.; la concessione a derivare una portata massima di 180 m^3/s scade nel 2029.

CARATTERISTICHE IDRAULICHE DELLO SBARRAMENTO

Dal punto di vista idraulico vengono qui presentate le informazioni necessarie per progettare correttamente il passaggio artificiale per pesci.
In particolare è necessario definire i livelli idrici di monte e di valle, in termini di distribuzione di frequenza e di escursioni massime. Di minore rilevanza è invece l'analisi statistica delle portate derivate e di quelle in eccesso, in quanto queste grandezze non condizionano direttamente il funzionamento del passaggio.
L'analisi statistica è stata effettuata sulla base di un campione di dati giornalieri relativi al periodo 1-3-1993 e 20-3-2002, per un totale di 3.299 dati per i livelli di monte e 3.282 dati per i livelli di valle (per alcuni giorni non sono disponibili le misurazioni idrometriche).
Nel grafico in figura 14 è riportata la distribuzione di frequenza dei livelli registrati a monte dello sbarramento; l'analisi è stata svolta considerando classi di 5 cm (la barra posta in corrispondenza di un determinato livello indica la percentuale del campione compresa tra quel livello ed il successivo).
Dal grafico si osserva che la maggior parte dei casi è concentrata nella classe 192,50 – 192,55 (37% del campione); se si considera l'intervallo più esteso compreso tra 192,45 e 192,6, questo comprende il 66% del campione. Dal grafico si osserva anche che si ha una frequenza relativamente elevata per livelli compresi tra 191,3 e 191,45; confrontando il grafico di figura 14 con quello di figura 17, dove è rappresentato l'andamento storico del livelli del fiume, si osserva che questo risultato è dovuto alla gestione dello sbarramento nel biennio 1993 –1994 (precedentemente al 1993 non ci sono dati disponibili). Dal grafico di figura 16 si vede chiaramente che in quei due anni, fatta eccezione per un periodo di circa 4 mesi in cui il livello veniva mantenuto a 192,5 m s.l.m., i livelli di monte erano sempre dell'ordine di 191,3 – 191,4 m s.l.m.. In figura 15 è riportata la stessa distribuzione di frequenza di figura 14, depurata però dai dati precedenti al 1995. Con questo nuovo campione di dati, nella classe 192,50 – 192,55 ricade il 43% del campione e se si considera l'intervallo compreso tra 192,45 e 192,6, questo comprende oltre il 75% del campione.

Analizzando infine i livelli minimi e massimi in cui si hanno un numero significativo di casi, si vede che come estremo superiore si può considerare 192,6 m s.l.m. (il fatto che non si abbiano valori più elevati è dovuto ai criteri di gestione dello sbarramento), mentre come estremo inferiore si può considerare 191,80, valore al di sotto del quale ricade meno del 5% del campione di dati (sempre considerando il periodo 1995-2002).
In figura 16 è invece riportata la distribuzione di frequenza dei livelli misurati a valle dello sbarramento. In questo caso, come si vedrà in seguito, l'andamento dei livelli è determinato, oltre che dalla portata del fiume, da come viene gestito lo sbarramento di Panperduto. Dal grafico si osserva che i livelli più frequenti sono compresi tra 186,20 e 186,25 (41% del campione) e se si considera l'intervallo compreso tra 186,15 e 186,25, questo comprende il 66% del campione.
Analizzando i livelli minimi e massimi in cui si hanno un numero significativo di casi, si vede che come estremo superiore si può considerare 187,00 m s.l.m. (valore a cui corrisponde una frequenza cumulata del 95%), mentre come estremo inferiore si può considerare 185,90 (frequenza cumula 5%).
Analizzando infine i due grafici relativi all'andamento temporale di livelli e portate (figura 18), si osserva che:

- i livelli a monte dello sbarramento sono estremamente stabili; il livello viene infatti mantenuto costantemente a 192,50 m s.l.m.(fatta eccezione per il biennio 1993-1994); questo livello non viene mai superato, mentre in alcuni casi si sono registrati livelli più bassi
- in particolare, livelli inferiori a 192,50 m s.l.m., si sono registrati sia durante le magre, sia durante le piene: nel primo caso il decremento del livello abituale è stato determinato dai bassi livelli del Lago Maggiore e in alcuni casi non era neanche disponibile la portata da turbinare (ad esempio inverno '99, inverno 2000 e settembre 2000); nel secondo caso invece, confrontando i grafici, si deduce che in occasione di piene dell'ordine di alcune centinaia di m^3/s, si smette di derivare l'acqua e vengono aperte le paratoie, il che comporta un abbassamento del livello di monte
- durante le piene si osserva anche un innalzamento dei livelli a valle dello sbarramento, fenomeno che si verifica sia quando vengono aperte le paratoie, sia quando si continua a turbinare i 180 m^3/s, ma

c'è anche una portata in eccesso di alcune centinaia di m^3/s, che sfiora oltre le paratoie.

Figura 14: Distribuzione di frequenza dei livelli a monte dello sbarramento di Porto della Torre

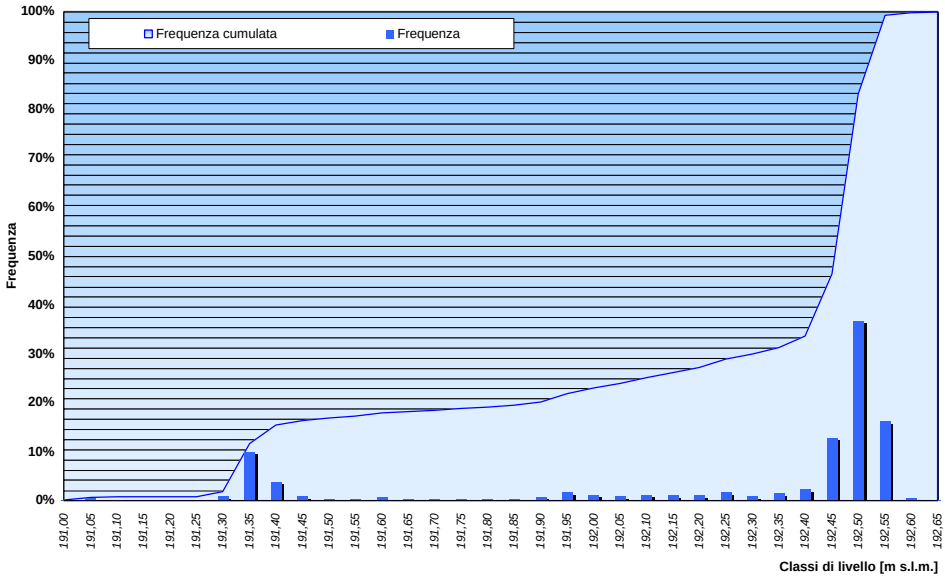


Figura 15: Distribuzione di frequenza dei livelli a monte dello sbarramento di Porto della Torre (dal 1995)

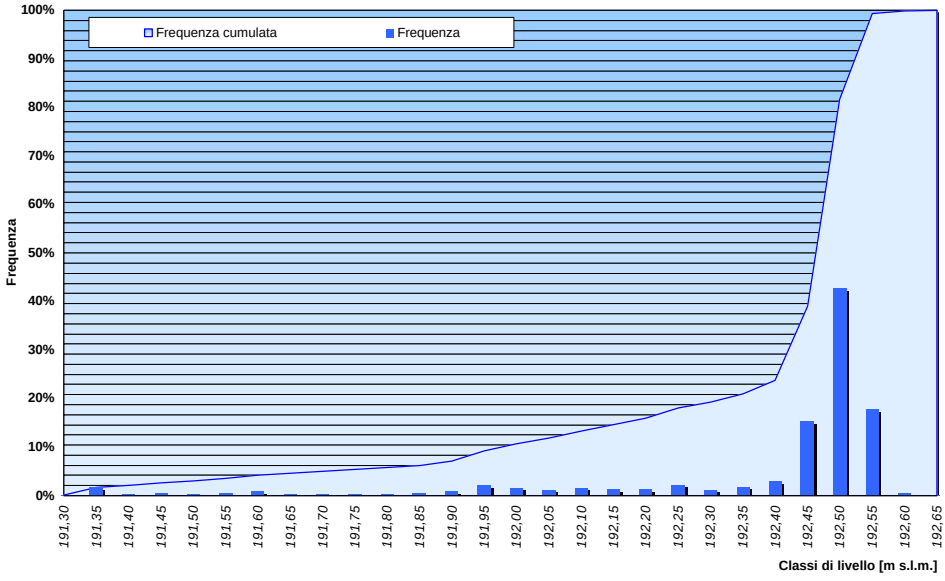


Figura 16: Distribuzione di frequenza dei livelli a valle dello sbarramento di Porto della Torre

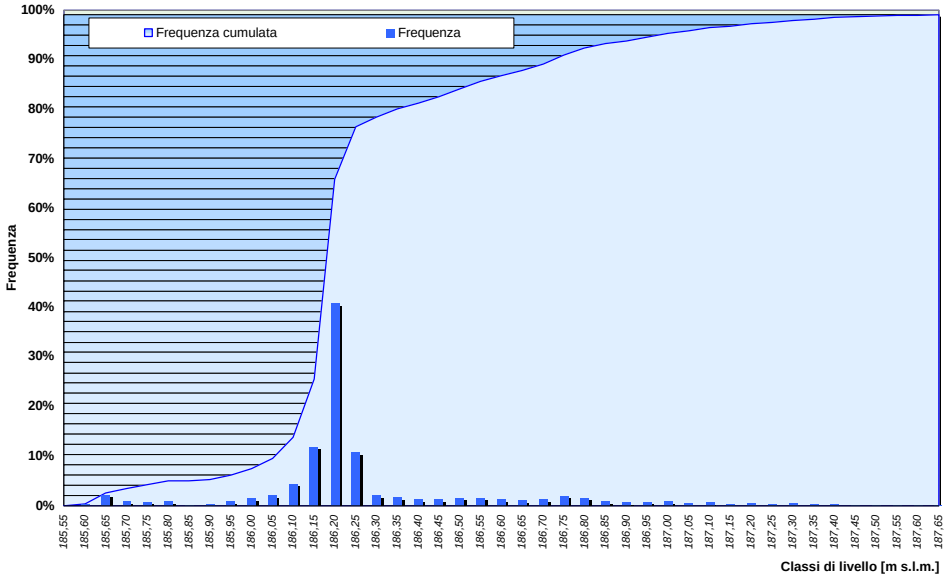


Figura 17: Andamento dei livelli del Lago Maggiore e del Ticino a monte e a valle dello sbarramento

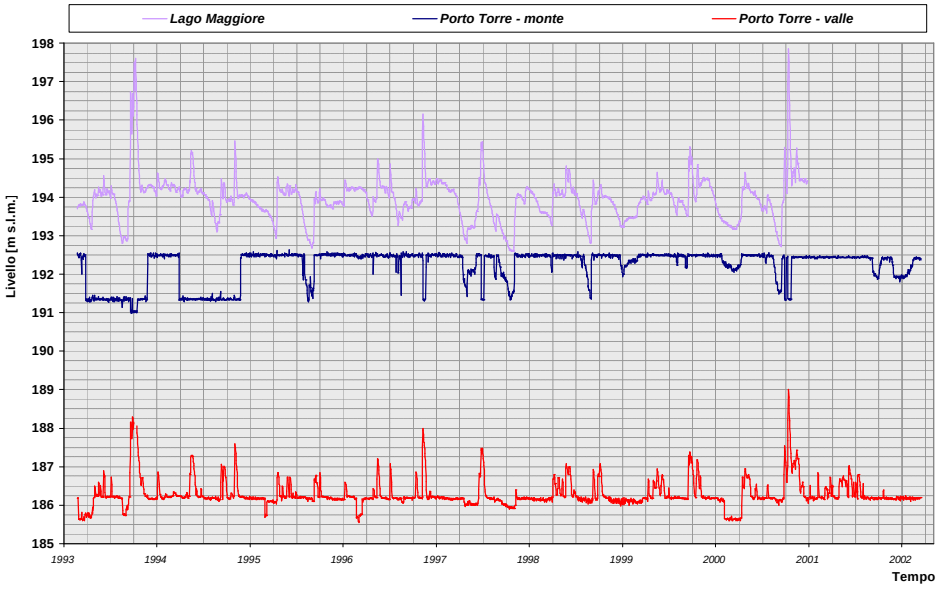
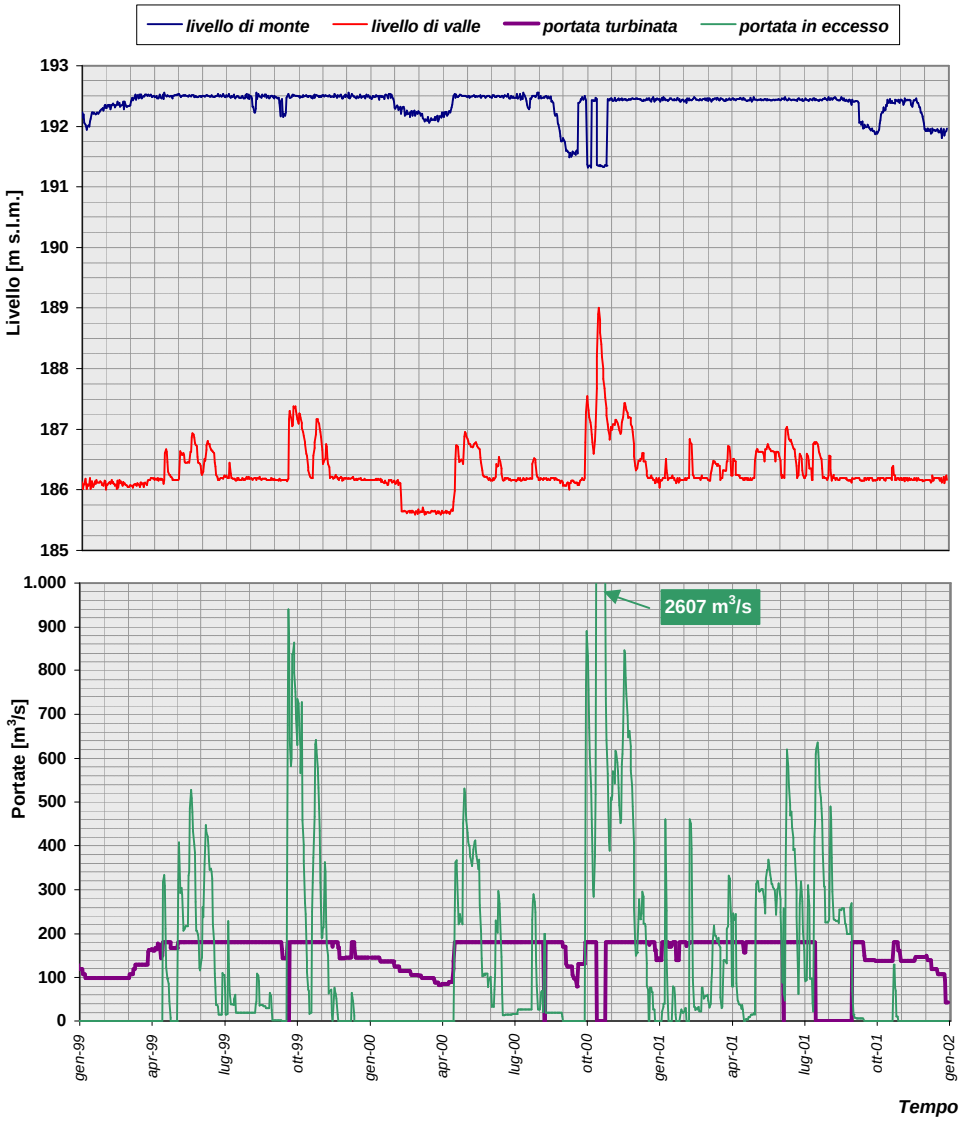


Figura 18: Andamento dei livelli e delle portate a Porto della Torre nel triennio 1999-2001



LA TRAVERSA DI PANPERDUTO

LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE DEI MANUFATTI

Come è già stato descritto in precedenza, lo sbarramento di Panperduto si trova poco più a valle di Porto della Torre ed il tratto di fiume che li separa, quando il fiume non è in piena, è di fatto un bacino con velocità modeste diviso nella parte più a valle da un'isola posta praticamente a ridosso dello sbarramento di Panperduto.
A differenza di Porto della Torre, lo sbarramento di Panperduto è stato creato per alimentare due canali artificiali; l'acqua derivata non viene quindi restituita immediatamente al fiume e nel tratto a valle dello sbarramento, nei periodi di magra, ci sono gravi problemi dovuti alla scarsa disponibilità idrica. Nel corso dei sopralluoghi effettuati nell'estate 2002, è stata osservata la presenza di un deflusso idrico che sfiora la traversa verso la sponda destra; informazioni raccolte presso il Consorzio di Bonifica Est Ticino – Villoresi (Mantoan, com. pers.), motivano tale deflusso con l'avvio di una sperimentazione concordata nell'ambito del Consorzio del Ticino sul DMV che prevede il rilascio di 10 m^3/s dalle opere di presa.
Lo sbarramento è costituito da una traversa in cemento, lunga circa 280 metri, che taglia trasversalmente l'alveo del fiume; la soglia di sfioro è a 185,75 m s.l.m.. Lungo la sommità della struttura in calcestruzzo, nel 1999 sono stati installati tre cilindri di gomma che vengono riempiti con acqua con lo scopo di aumentare quando è necessario il livello della soglia di sfioro (figura 21). In particolare, partendo dalla sponda sinistra del fiume, i primi due cilindri possono essere o completamente pieni (alzando di +90 cm la soglia di sfioro) o completamente vuoti (alzando di + 0 cm la soglia di sfioro), mentre l'ultimo cilindro può assumere anche posizioni intermedie.
La derivazione d'acqua avviene attraverso un bacino intermedio (bacino di distribuzione) posto tra il fiume e l'inizio dei canali di derivazione (figura 19). Il bacino di distribuzione è collegato all'alveo fluviale attraverso una schiera di 30 paratoie, regolando le quali il livello nel bacino di distribuzione viene mantenuto costante. Accanto alle paratoie è presente una conca di navigazione attualmente non funzionante.
Il bacino di distribuzione è lungo circa 700 metri ed ha una larghezza media di 50 metri. Al termine del bacino sono presenti:

- una schiera di paratoie da cui ha inizio il Canale Villoresi, nel quale viene convogliata una portata massima invernale di 30 m^3/s e una portata massima estiva di 70 m^3/s ;
- una schiera di paratoie da cui ha inizio il Canale Industriale, nel quale viene convogliata permanentemente una portata di 120 m^3/s;
- la presa della Roggia Visconti, nella quale viene convogliata una portata permanente di 0,9 m^3/s;
- una schiera di paratoie per la restituzione della portata in eccesso al Ticino; questa opzione non viene sfruttata ormai da anni, tant'è che l'area a valle delle paratoie è stata colonizzata dal bosco.

Anche qui è presente una conca di navigazione non più funzionante che, attraverso un canale ad essa dedicato, collega il bacino di distribuzione con l'alveo del Ticino alcune centinaia di metri più a valle. Si segnala infine che accanto alle paratoie per la restituzione della portata in eccesso al Ticino, è presente un vecchio passaggio per pesci che, anche per il fatto che non viene più utilizzato lo sfioratore, non è attualmente funzionante (figura 10). Questo passaggio, anche nel caso in cui venisse ripristinato, non può essere efficiente in quanto il suo accesso si trova in un punto in cui non vi è un sufficiente richiamo idrico da monte.

Analizzando infine il comportamento idraulico nel tratto di fiume a valle dello sbarramento, si osserva che il fiume si divide in due rami. In assenza di acqua in eccesso che sfiora oltre lo sbarramento, il ramo sinistro è alimentato da un rilascio di 7 m^3/s che avviene immediatamente a valle delle paratoie di regolazione del bacino di distribuzione e che, oltre a provvedere a scaricare il materiale grossolano che entra nel bacino di distribuzione, ha lo scopo di garantire la disponibilità idrica per una derivazione presente più a valle (Roggia di Oleggio). Di questi 7 m^3/s, la maggior parte defluisce nel ramo sinistro, mentre una parte scorre parallelamente allo sbarramento per poi defluire nel ramo destro.

Durante le piene la portata si distribuisce in entrambi i rami, sommergendo anche l'isola che li separa.

L'acqua derivata a Panperduto è vincolata alle seguenti concessioni:

- Centrale elettrica di Vizzola, posta lungo il Canale Industriale e gestita da ENEL Produzione S.p.A., la cui concessione ad utilizzare per tutto l'anno 120 m^3/s scade nel 2029
- Centrale elettrica di Tornavento, posta lungo il Canale Industriale a valle della centrale di Vizzola e gestita da ENEL Produzione

S.p.A., la cui concessione ad utilizzare per tutto l'anno 120 m^3/s scade nel 2029

- Centrale elettrica di Turbigo Superiore, posta lungo il Canale Industriale a valle della centrale di Tornavento e gestita da ENEL Produzione S.p.A., la cui concessione ad utilizzare per tutto l'anno 120 m^3/s scade nel 2029
- Canale Adduttore Principale Villoresi, gestito dal Consorzio di Bonifica Est Ticino – Villoresi, la cui concessione a scopo irriguo, scaduta nel 1987, prevedeva un utilizzo invernale da 20 a 30 m^3/s ed un utilizzo estivo di massimo 70 m^3/s; attualmente la concessione è in fase di rinnovo
- Roggia Visconti, nella quale viene convogliata una portata permanente di 0,9 m^3/s a scopo industriale.

Figura 19: Schema dei flussi idrici e dei livelli a monte e a valle dello sbarramento di Panperduto

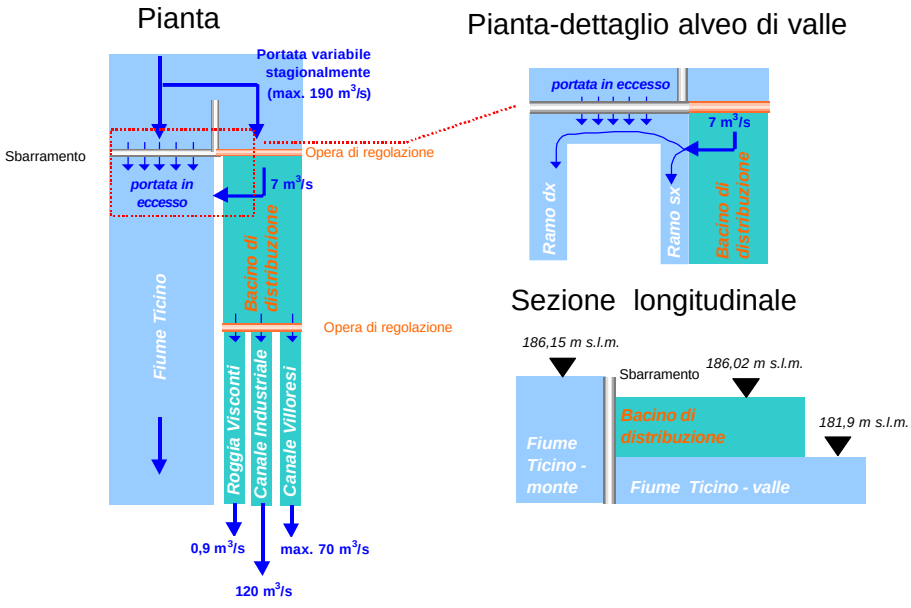


Figura 20: Pianta del progetto originario del sistema di derivazione

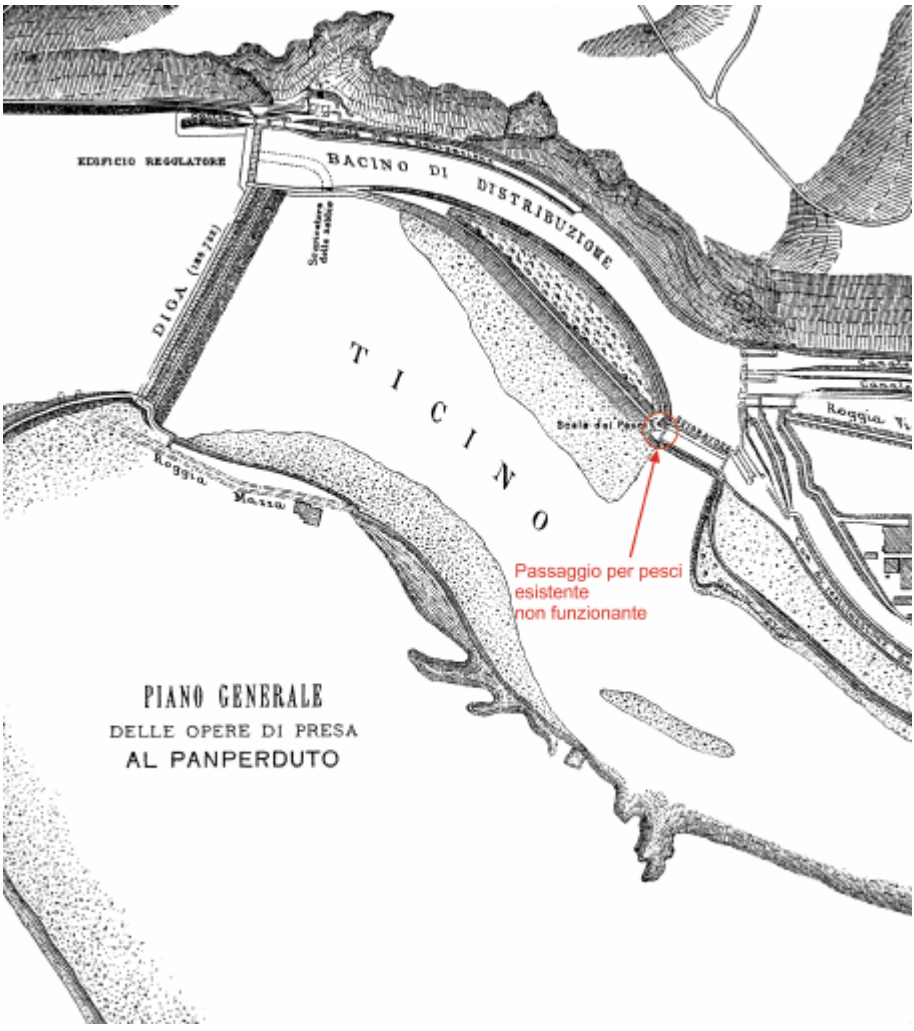


Figura 21: Sbarramento di Panperduto: in alto veduta dello sbarramento da valle, in basso bacino di distribuzione con evidenziate le opere di regolazione per il rilascio dei 7 m^3/s per la roggia di Oleggio

Figura 22: Sbarramento di Panperduto: in alto conca di navigazione tra il fiume a monte e il bacino di distribuzione, al centro recapito dei 7 m^3/s destinati alla roggia di Oleggio, in basso il ramo di sinistra dell'alveo di valle.

CARATTERISTICHE IDRAULICHE DELLO SBARRAMENTO

Dal punto di vista idraulico vengono qui presentate le informazioni necessarie per progettare correttamente il passaggio artificiale per pesci.

Per i livelli idrico a monte dello sbarramento e nel bacino di distribuzione sono state effettuate delle analisi statistiche sulla stessa base di dati utilizzata per Porto della Torre (dal 1-3-1993 al 20-3-2002, per un totale di 3.185 dati giornalieri); per i livelli di valle, non essendo

disponibili dati storici, viene assunto come livello di riferimento 181,90 m s.l.m., livello medio rilevato durante i sopralluoghi effettuati per il presente studio.
Nel grafico di figura 23 è riportata la distribuzione di frequenza dei livelli registrati a monte dello sbarramento; l'analisi è stata svolta considerando classi di 5 cm (la barra posta in corrispondenza di un determinato livello indica la percentuale del campione compresa tra quel livello ed il successivo). Dal grafico si osserva che la maggior parte dei casi è concentrata nella classe 186,15 – 186,20 (30% del campione); se si considera l'intervallo più esteso compreso tra 186,10 e 186,25, questo comprende oltre il 60% del campione. Confrontando la distribuzione dei livelli con la soglia fissa dello sbarramento (185,75 m s.l.m.) si osserva che i casi in cui il livello di monte è stato più basso di quello dello sbarramento rappresentano il 5% del campione e questi casi sono concentrati prevalentemente nel 1993 (figura 25). Per quanto riguarda i livelli superiori a 186,25 questi coincidono tutti con eventi di piena del Ticino: al di sotto di 186,50 è compreso l'86% del campione, mentre sotto il livello di 187,00, tale percentuale cresce al 96%.
Nel grafico di figura 24 è invece riportata la distribuzione di frequenza dei livelli misurati nel bacino di distribuzione. In questo caso è opportuno ricordare che nel bacino il livello viene mantenuto costante regolando le paratoie in ingresso e in uscita dallo stesso: le variazioni del livello nel bacino sono dovute prevalentemente o alla necessità di effettuare interventi di manutenzione o al fatto che cambiano i criteri di gestione e di conseguenza il livello che si vuole mantenere.
Ciò premesso, dal grafico si osserva che la maggior parte dei casi è concentrata nella classe 186,00 – 186,05 (39% del campione); se si considera l'intervallo più esteso compreso tra 185,95 e 186,10, questo comprende quasi il 90% del campione). Il livello nel bacino di distribuzione è dunque stabile. I casi in cui il livello è stato più alto di 186,10 sono estremamente rari (0,8%), mentre in alcuni casi il livello è stato inferiore a 185,95; i livelli più bassi sono dell'ordine di 185,50, valore al di sotto del quale è compreso solo l'1% del campione. Nei grafici di figura 25 si vede come è variato nel tempo il livello nel bacino di distribuzione; attualmente viene mantenuto a 186,02 m s.l.m.
Analizzando i grafici relativi all'andamento temporale di livelli e portate (figura 25), si osserva che:

- il livello a monte dello sbarramento risente delle piene del Ticino: mentre sono rari i casi in cui tale livello scende sotto la soglia di sfioro della diga, si osserva che ogni volta che la portata in arrivo

da monte è sensibilmente più alta di quella che viene derivata, il livello di monte si alza

- in particolare si sono registrati livelli superiori a 187 m s.l.m. circa una vola all'anno, mentre in casi eccezionali (ottobre '93 e ottobre 2000), il livello di monte ha superato i 188 m s.l.m.
- il livello nel bacino di distribuzione presenta invece un andamento temporale diverso: nel bacino non è mai stato superato il livello di 186,10 m s.l.m., mentre in alcuni rari casi è sceso a valori dell'ordine di 185,50 m s.l.m.; è interessante notare come dal 2000 in poi, grazie ai più sofisticati sistemi di gestione, il livello ha avuto un andamento estremamente stabile (è stato mantenuto a 185,96 m s.l.m. fino al giugno del 2001, quindi a 196,02 m s.l.m. fino ad oggi)
- per quanto riguarda le portate derivate, l'andamento temporale presenta delle escursioni dettate dalle esigenze dovute al fabbisogno idrico per l'agricoltura: i valori minimi sono di circa 130 m^3/s (di cui 120 m^3/s sono diretti alle centrali idroelettriche poste lungo il Canale Industriale), mentre i valori massimi sono dell'ordine di 180 – 190 m^3/s
- considerando infine le portate che proseguono verso valle oltre lo sbarramento si osserva che nei periodi di magra è vengono rilasciati esclusivamente i 7 m^3/s per la Roggia di Oleggio, mentre nelle stagioni più piovose capita spesso che si abbia un deflusso verso valle di qualche decina di m^3/s.

Figura 23: Distribuzione di frequenza dei livelli a monte dello sbarramento di Panperduto

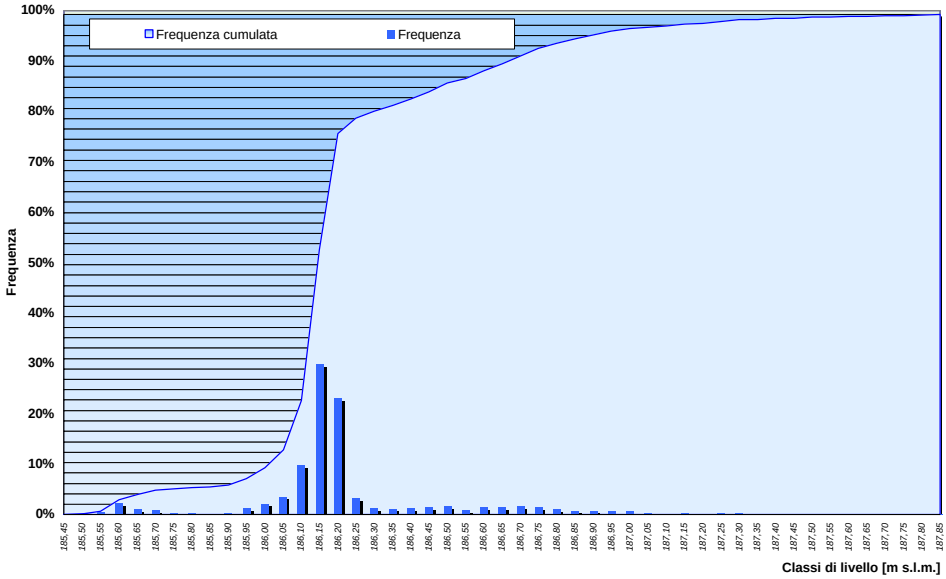


Figura 24: Distribuzione di frequenza dei livelli nel bacino di distribuzione a Panperduto

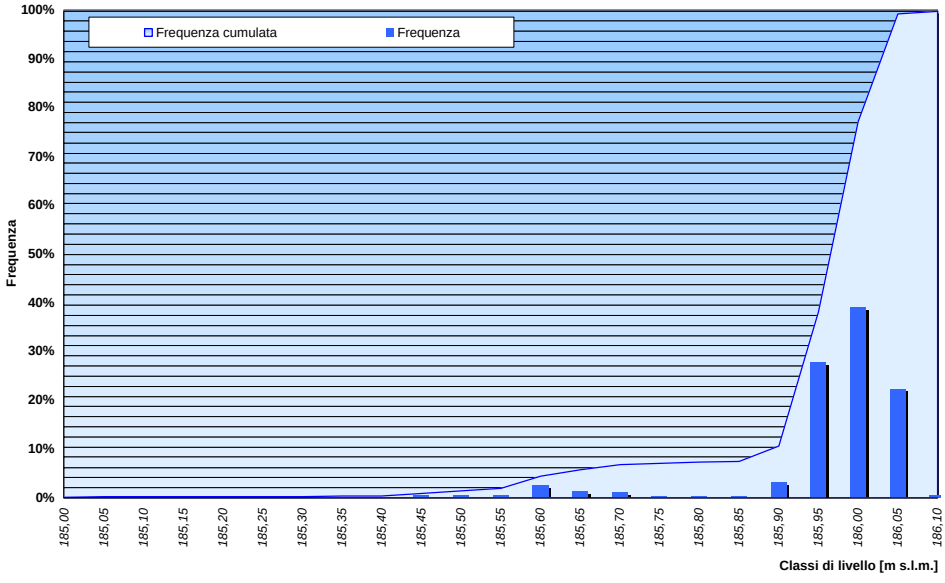
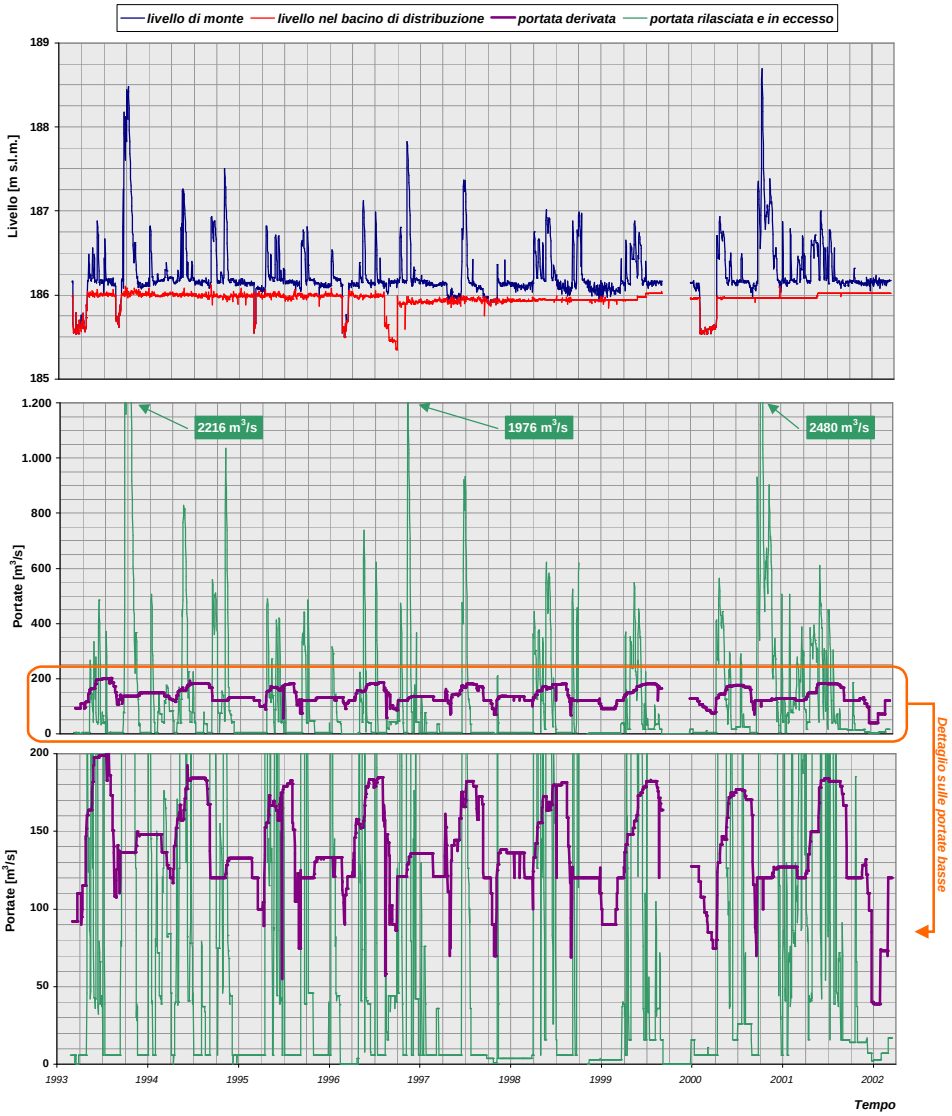


Figura 25: Andamento dei livelli e delle portate a Panperduto



I PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI

I PASSAGGI PER PESCI: TIPOLOGIE COSTRUTTIVE

Il principio generale dei passaggi artificiali per la risalita dei pesci consiste nell'attrarre gli stessi in un punto determinato del corpo idrico a valle dell'ostacolo consentendo loro la risalita e, conseguentemente, il superamento dell'ostacolo stesso.
La tipologia di passaggi più comunemente utilizzata è il **passaggio a bacini successivi**.

Figura 26: Esempi di passaggi per pesci a bacini successivi

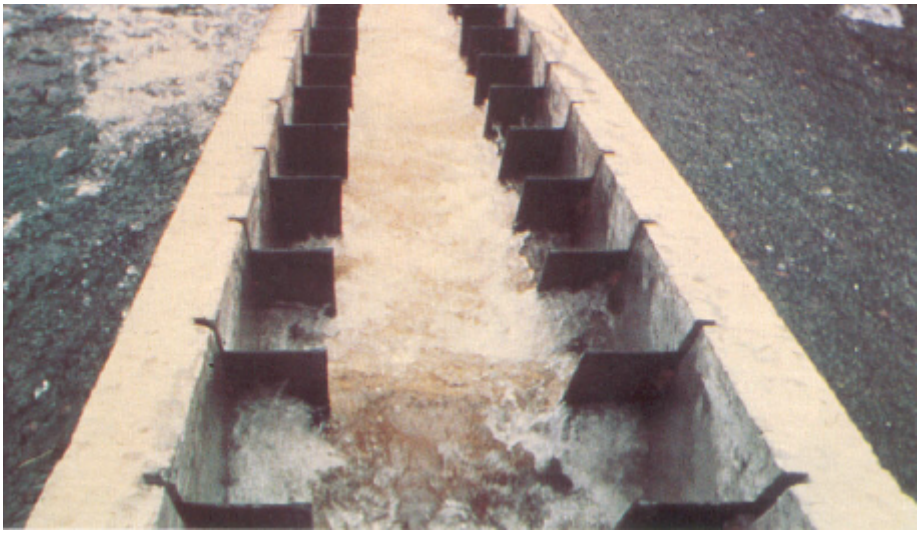
In questo tipo di passaggio, l'altezza da superare viene suddivisa in una serie di piccoli salti che alimentano altrettanti bacini fra loro comunicanti per mezzo di stramazzi (stretti o larghi), di orifizi o di fenditure (figura 26); tali aperture, attraverso le quali fluisce l'acqua, regolano il livello dell'acqua in ciascuno dei bacini. L'acqua può fluire in superficie, dal fondo, oppure da traverse laterali. Il ruolo dei bacini è

quello di dissipare convenientemente l'energia associata al flusso d'acqua che transita sulla scala, oltre a fornire utili zone di riposo alla fauna ittica. Il dislivello fra i bacini e le loro dimensioni devono essere definiti in base alle specie migratrici a cui è rivolto il passaggio; la pendenza varia generalmente fra il 10% (consigliata) e il 15% (massima) (Larinier, 1992). Queste tipologie di scala sono generalmente adatte al passaggio di più specie contemporaneamente, grazie alla minore selettività rispetto ad altre tipologie (es. tipo Denil). In tal caso il dimensionamento deve essere eseguito rispettando le richieste della specie più esigente, in termini di altezza massima superabile del salto, velocità di corrente, turbolenza ecc.

Il principio di funzionamento delle **scale a rallentamento** o di **tipo *"Denil"*** consiste nel disporre sul fondo e/o sulle pareti d'un canale a forte pendenza (fino al 20%), una serie di deflettori di forma più o meno complessa, la cui funzione è quella di ridurre le velocità medie della corrente (Larinier, 1992).

Queste tipologie di passaggio sono relativamente selettive, in quanto sono adatte a specie con grande capacità di nuoto in termini di velocità e durata (grandi Salmonidi migratori, lampreda, grandi Ciprinidi d'acqua corrente). Non funzionano quindi neanche per individui di lunghezza inferiore a 30 cm circa.

Figura 27: Passaggi a rallentamento



I **passaggi rustici** o **rapide artificiali** consistono in canali modellati su una delle due rive o in altre zone dell'alveo; il canale è caratterizzato

da sponde e fondo rugoso, con presenza di ostacoli, in modo da imitare un ambiente di ruscello naturale.

Figura 28: Passaggi rustici o rapide artificiali

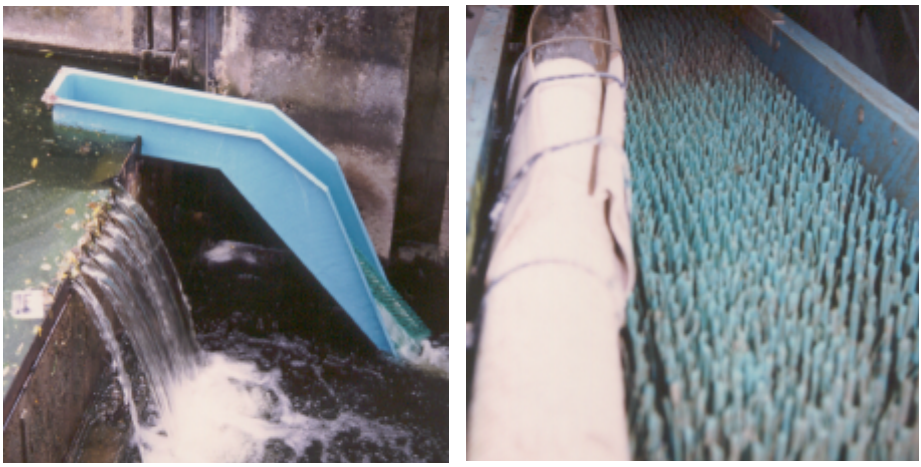
Una **chiusa per pesci** funziona all'incirca secondo il principio di una chiusa da navigazione; è composta da una camera a monte, situata poco al di sotto del livello dell'acqua del fiume, da una camera a valle di grandi dimensioni e da un condotto inclinato che unisce le due camere. A ciascuna delle estremità delle camere è posizionata una porta automatizzata. Aprendo e chiudendo periodicamente le opere di chiusura, viene variato il livello all'interno della chiusa permettendo il passaggio dei pesci dalla camera di valle a quella di monte.

Il principio di funzionamento di un **ascensore** per pesci si basa su un sistema meccanico che permette, in una prima fase, di catturare i migratori ai piedi dell'ostacolo in una vasca o cavità o piccolo bacino, contenente una quantità d'acqua appropriata; la seconda fase consiste nel portare in alto i pesci (ascensore vero e proprio) e in ultimo nel farli passare dall'altra parte dell'ostacolo, rilasciandoli nel fiume a monte. Anche in questo caso i migratori sono attirati verso il bacino di cattura attraverso una portata di attrazione; il sollevamento della cabina, per mezzo di motore, può essere programmato periodicamente in funzione del numero di pesci che vengono presumibilmente catturati. Per quanto riguarda il rilascio dei pesci a monte, questa operazione può avvenire direttamente nel fiume, se la cabina

dell'ascensore è posta allo stesso livello dell'acqua del fiume; in caso di presenza di dislivello, i pesci devono essere rilasciati in un canale appositamente predisposto per il superamento di tale altezza. Gli ascensori sono utilizzati in caso di presenza di dighe con un dislivello troppo elevato per l'utilizzo di passaggi artificiali standard.

Infine si illustrano i **passaggi per anguille**, che richiedono particolari tecniche realizzative. Questi pesci negli stadi giovanili, hanno particolari capacità natatorie e sfruttano nella risalita dei corsi d'acqua le rugosità naturali presenti in cui le velocità dell'acqua sono contenute. Per questo motivo, nei passaggi per anguille si cerca di ricreare le condizioni naturali, impiegando dei substrati particolari come quello illustrato nella figura seguente che consentono alle anguille una agevole risalita. I substrati possono essere realizzati con materiali vari sia naturali sia artificiali; particolarmente impiegati sono i substrati artificiali "tipo spazzola". I passaggi per anguille possono essere associati per esempio ai passaggi a bacini successivi.

Figura 29: Esempio di passaggio per anguille



Tra le tipologie sopra descritte quella comunemente adottata è il **passaggio a bacini successivi**.

CRITERI PER LA SELEZIONE DEL TIPO DI PASSAGGIO

La scelta tra le tipologie di passaggio sopra illustrate, deve tenere conto di una serie di condizioni e vincoli dettati dalle caratteristiche

ambientali e territoriali dei siti. I principali criteri di selezione riguardano i seguenti aspetti (tabella 3):

1. la comunità ittica del Fiume Ticino, descritta nel Capitolo 2;
2. le caratteristiche idrauliche del fiume con particolare riferimento ai livelli idrici di monte e di valle (Capitolo 4);
3. le caratteristiche topografiche delle aree (Capitolo 4);
4. le caratteristiche delle opere (sbarramenti) e i criteri di gestione delle stesse (Capitolo 4).

Tabella 3: Criteri e vincoli per la selezione del tipo di passaggio da adottare

	Specie ittiche	Range di portate consigliato	Pendenza consigliata	Pendenza massima	Necessità di bacino intermedio	Funzionamento con livelli di monte e portate variabili	Occupazione di spazio	Difficoltà realizzative con sbarramenti preesistenti	Manutenzione	Costi
BACINI SUCCESSIVI	Tutte (fondamentale la scelta del tipo di fessura)	da pochi l/s ad anche più di 1 m^3/s	< 10%	15% (solo salmoni di di taglia medio-alta)	Consigliabile per pendenze superiori al 10% DH > 3m	Medio	Media	Media	Dopo le piene	Medi
DENIL	Salmonidi, lampreda e grossi ciprinidi reofili	da 70-80 l/s a 500 l/s	<15%	20%	Necessario per DH > 2m	Scarso	Scarsa	Bassa	Dopo le piene	Medio-bassi
RAPIDA ARTIFICIALE	Tutte	a partire da 1 m^3/s	< 7%	10%	No	Buono	Notevole	Alta	No	Medio-bassi
CHIUSA / ASCENSORE	Tutte	-	-	-	No	Buono	Ridotta	Alta	Frequente-presenza di organi meccanici	Alti

I PASSAGGI ARTIFICIALI PER PESCI DA REALIZZARE NEI DUE SBARRAMENTI

LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI INGRESSO E DI USCITA DEL PASSAGGIO

Prima di arrivare all'individuazione delle aree in cui progettare gli interventi, sono stati effettuati numerosi sopralluoghi, che hanno coinvolto anche gli enti gestori delle concessioni di derivazione (Enel Produzione per Porto della Torre e Consorzio di Bonifica Est Ticino - Villoresi per Panperduto).
Durante i sopralluoghi si è presa visione dei seguenti elementi (per una descrizione delle opere si veda il Capitolo 4)

- caratteristiche delle opere (sbarramenti)
- sistemi di derivazione dell'acqua
- caratteristiche dell'ambiente fluviale con particolare attenzione ai tratti di sponda a monte e a valle degli sbarramenti

che hanno rappresentato la base conoscitiva indispensabile per individuare le aree di localizzazione dei passaggi.
La scelta del punto in cui inserire i passaggi è stata effettuata considerando:

- la presenza delle strutture esistenti e dunque la possibilità di inserire i passaggi senza grossi stravolgimenti in tali strutture
- la necessità di rendere "visibile" per la fauna ittica l'ingresso ai passaggi (a valle degli sbarramenti)
- l'accessibilità alle strutture previste
- la possibilità di proteggere i passaggi da eventuali atti vandalici e di bracconaggio.

LOCALIZZAZIONE DEL PASSAGGIO A PORTO DELLA TORRE

Il passaggio per pesci è previsto in sponda sinistra, in quanto la portata idrica rilasciata in sponda sinistra dalla centrale idroelettrica rappresenta il principale elemento di richiamo per la fauna ittica. I pesci sono infatti attratti dal flusso idrico in uscita e, come emerso da indagini subacquee (Graia, 1999), si concentrano proprio in questa

zona. Per questo motivo è stata a priori scartata la possibilità di realizzare il passaggio in sponda destra.
Il percorso del passaggio si sviluppa dal punto di monte, posizionato poco a monte della griglia che protegge il canale d'ingresso alla centrale, fino al punto di accesso (valle) ubicato poco a valle della restituzione. Il tracciato, lungo circa 240 metri, è suddivisibile in quattro tratti che da monte a valle sono:

- tratto in corrispondenza del giardino a lato del canale di presa, di proprietà Enel Produzione (circa 110 m);
- tratto in corrispondenza della strada statale n° 336 che passa sopra lo sbarramento (circa 10 m);
- tratto in corrispondenza del piazzale antistante alla centrale idroelettrica (circa 40 m);
- tratto interno al giardino che si trova a lato del canale di restituzione, di proprietà Enel Produzione (circa 80 m).

LOCALIZZAZIONE DEL PASSAGGIO A PANPERDUTO

L'ubicazione del passaggio in questo caso è risultata più problematica, in quanto l'attuale portata che defluisce verso valle si distribuisce in modo quasi uniforme tra le due sponde, benché le portate in gioco siano assai modeste confrontate con il regime idrologico del Ticino.
In seguito a sopralluoghi effettuati presso lo sbarramento, si è valutato che la soluzione ottimale sarebbe quella di realizzare due passaggi per pesci, in grado di "servire" entrambi i rami del fiume.
In particolare:

- per la sponda sinistra si è ipotizzato di realizzare il passaggio in modo che l'accesso si trovi nell'alveo di valle, in prossimità del rilascio dei 7 m^3/s e che il passaggio termini nel bacino di distribuzione poco più a valle delle opere di regolazione idraulica;
- per la sponda destra si è ipotizzato di ubicare il punto di accesso immediatamente a valle dello sbarramento (per massimizzare l'effetto di richiamo dei pesci), per poi raccordarsi alla Roggia Mazza e quindi attraverso questa raggiungere l'alveo a monte.

Nel presente studio si è scelto di limitare l'analisi alla sola fattibilità del passaggio in sponda lombarda. Tale scelta è stata effettuata in base alle seguenti considerazioni:

1. Dal punto di vista funzionale il passaggio in sponda sinistra si rivela più efficiente. Considerando lo schema riportato in figura 19, si vede che il punto in cui è previsto l'ingresso del passaggio si trova più a monte di quello in sponda piemontese: i pesci che

risalgono il ramo destro, trovandosi ai piedi dello sbarramento che non riescono a valicare, possono risalire il flusso che scorre da sinistra a destra ai piedi dello sbarramento, raggiungendo il punto di ingresso del passaggio. Realizzando invece il passaggio a destra, i pesci che risalgono il ramo sinistro, una volta raggiunto il punto in cui vengono scaricati i 7 m^3/s, non sarebbero più in grado di risalire il fiume (tendenzialmente non seguono il flusso che si dirige verso destra in quanto essi sono portati a risalire la corrente).

2. La sponda lombarda risulta più accessibile, il che agevola sia la costruzione del passaggio, sia gli interventi di manutenzione, sia la sorveglianza; a questo proposito è opportuno ricordare che vicino al punto in cui si è previsto di realizzare il passaggio si trova l'ufficio del Consorzio di Bonifica Est Ticino - Villoresi, il che garantisce la presenza pressoché costante di personale che può sorvegliare e controllare la funzionalità del passaggio.
3. Il passaggio per pesci in sponda sinistra è previsto in corrispondenza di manufatti già esistenti e l'occupazione di un'area già di proprietà dello stesso consorzio, che ha peraltro manifestato la sua disponibilità a concederla in uso al passaggio per pesci. Ciò semplifica decisamente l'eventuale realizzazione dello stesso.
4. I manufatti esistenti in sponda sinistra garantiscono la protezione del passaggio dalla ondate di piena (la piena storica di Ottobre 2000 non ha minimamente modificato la conformazione dell'alveo e della sponda nella zona interessata dal passaggio, mentre ha determinato fenomeni erosivi sulla sponda destra).
5. Infine, il fatto di ipotizzare la realizzazione di due passaggi in corrispondenza di una sola opera, implicherebbe dei costi eccessivi, presumibilmente superiori al doppio di quanto ipotizzato per il solo passaggio per pesci in sponda sinistra. Inoltre, la realizzazione di un solo passaggio risponde comunque adeguatamente alle esigenze del progetto, ripristinando il corridoio ecologico.

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI PASSAGGIO

Le principali motivazioni che hanno portato alla scelta del **passaggio a bacini successivi** e all'esclusione delle altre tipologie di passaggi, sono riassumibili in:

- i **passaggi rustici** o **rapide artificiali** sono di difficile inserimento nei manufatti esistenti; inoltre i dislivelli da superare sono eccessivi per questo tipo di passaggio;
- le **scale a rallentamento** non sono adatte in quanto permettono la risalita solo di pesci aventi spiccate capacità natatorie, escludendo molte delle specie presenti nel fiume;
- le **chiuse** richiedono interventi strutturali massicci e un'accurata gestione e manutenzione;
- gli **ascensori** sono adatti per superare dislivelli maggiori.

Vista l'importanza ecologica, sul Fiume Ticino, delle anguille è previsto anche un dispositivo per la loro risalita.

I PASSAGGI A BACINI SUCCESSIVI

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

? per passaggio attraverso uno o più orifizi ubicati nel setto che separa due bacini adiacenti (luce a battente);
? per stramazzo da una o più fenditure (luce a stramazzo).

Le opzioni sopra illustrate possono essere combinate in differenti soluzioni realizzative.
I principali parametri per il dimensionamento di un passaggio a bacini successivi sono le dimensioni dei bacini e la forma del setto divisore (tipologia e dimensioni delle aperture); sono queste caratteristiche geometriche che, in funzione delle quote idriche a monte e a valle dell'apertura, determinano il comportamento idraulico del passaggio e la differenza del livello tra due bacini adiacenti.
Nelle pagine seguenti sono indicati i principali criteri da osservare nella progettazione di un passaggio artificiale di questo tipo. Essi sono tratti dalla più recente bibliografia di settore, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti (Clay, 1995, Larinier et al., 1992, Larinier et al., 2002, Odeh, 1999).

DEFINIZIONE DEL DISLIVELLO TRA DUE BACINI CONTIGUI IN BASE ALLA COMUNITÀ ITTICA

Il passaggio dei pesci sarà tanto più facilitato quanto minore risulterà il salto ? H tra due bacini; tuttavia la minimizzazione del salto non dovrà rendere eccessivamente lungo il passaggio per pesci (numero elevato

di bacini). In via approssimativa, la massima velocità determinata dallo scalino ? H è ricavabile dalla relazione:

$$V ? \sqrt{2 ? g ?? H}$$

in cui *g* rappresenta l'accelerazione di gravità (9,81 m/s^2). La curva descritta è illustrata in figura 30. In figura 31 è invece rappresentata la velocità massima raggiungibile da salmonidi in funzione della lunghezza del pesce, per diverse condizioni termiche; informazioni analoghe non sono invece disponibili per i ciprinidi. Nella zona dell'apertura in cui si ha il distaccamento della lama d'acqua la velocità del flusso diminuisce notevolmente, creando le condizioni idonee alla risalita di specie di piccola taglia.

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

a) attraverso uno stramazzo (salto);
b) attraverso lo scorrimento superficiale (stramazzo rigurgitato);
c) attraverso l'orifizio di fondo.

I passaggi a "salto" sono riservati esclusivamente ai Salmonidi che hanno la capacità di effettuare salti anche prossimi ai 60 cm (limite per Salmoni); per le trote, il dislivello massimo superabile da esemplari di grossa taglia è di 45 cm. Autorevoli studiosi consigliano nella progettazione di passaggi a bacini per trote di mantenere un salto nell'intorno dei 30 cm al fine di garantire la risalita anche di esemplari di media taglia. I passaggi a "flusso superficiale" consentono la risalita anche di specie ittiche che non sono in grado di compiere salti (per es. i ciprinidi). Per la maggior parte di tali pesci si consigliano dislivelli dell'ordine dei 20-25 cm, che possono essere ridotti nel caso si preveda la risalita di esemplari con taglie particolarmente ridotte.

È comunque opportuno ricordare che anche i pesci dotati di buone capacità di salto sono più facilitati a superare un ostacolo senza dovere necessariamente saltarlo. È quindi altamente preferibile un passaggio per pesci che consenta il superamento del dislivello attraverso le feritoie laterali e gli orifizi di fondo che permettono la risalita ai pesci che non saltano, ma che rendono la vita più facile anche ai pesci "buoni saltatori".

Figura 30: Andamento della velocità della corrente idrica creata dal getto d'acqua al variare del dislivello tra due bacini successivi

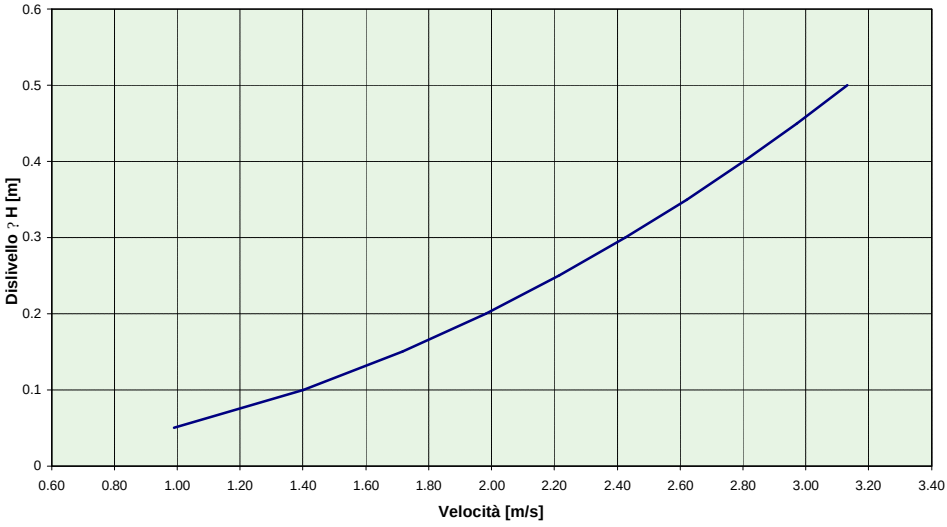
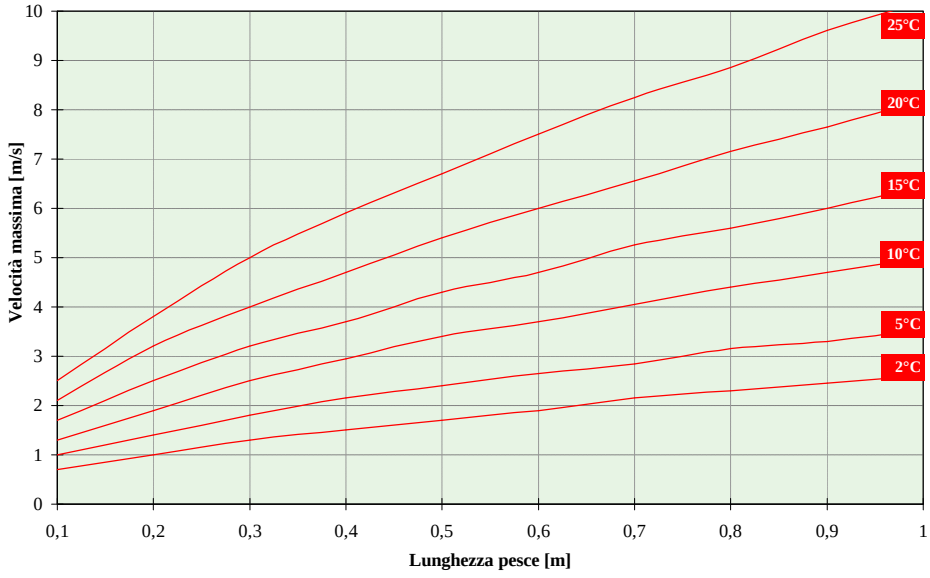


Figura 31: Velocità massima di nuoto in funzione della taglia e della temperatura per i salmonidi



DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI MONTE E DI VALLE DI RIFERIMENTO E DEL NUMERO DI BACINI

La scelta dei livelli idrici da adottarsi nella progettazione del passaggio per pesci, richiede un'analisi accurata. La definizione dei valori di riferimento permette il corretto funzionamento del passaggio per la maggior parte dell'anno, evitando per esempio:

- la formazioni di eccessivi dislivelli idrici tra i bacini;
- la messa in asciutta del passaggio;
- la formazione di discontinuità insormontabili per i pesci.

Il metodo più semplice per adottare i livelli di riferimento è quello di raccogliere i dati disponibili dei livelli stessi a monte ed a valle degli sbarramenti (sono solitamente disponibili nel caso in cui vi sia una centrale idroelettrica ad acqua fluente come per esempio a Porto della Torre); poi, una volta definito il periodo ideale di funzionamento del passaggio in base alle specie ittiche, attraverso delle elaborazioni statistiche è possibile determinare i valori corretti.
Una volta definiti: il dislivello tra due bacini contigui e il salto complessivo, si determina il numero di salti [N] ed il numero di bacini [N-1].

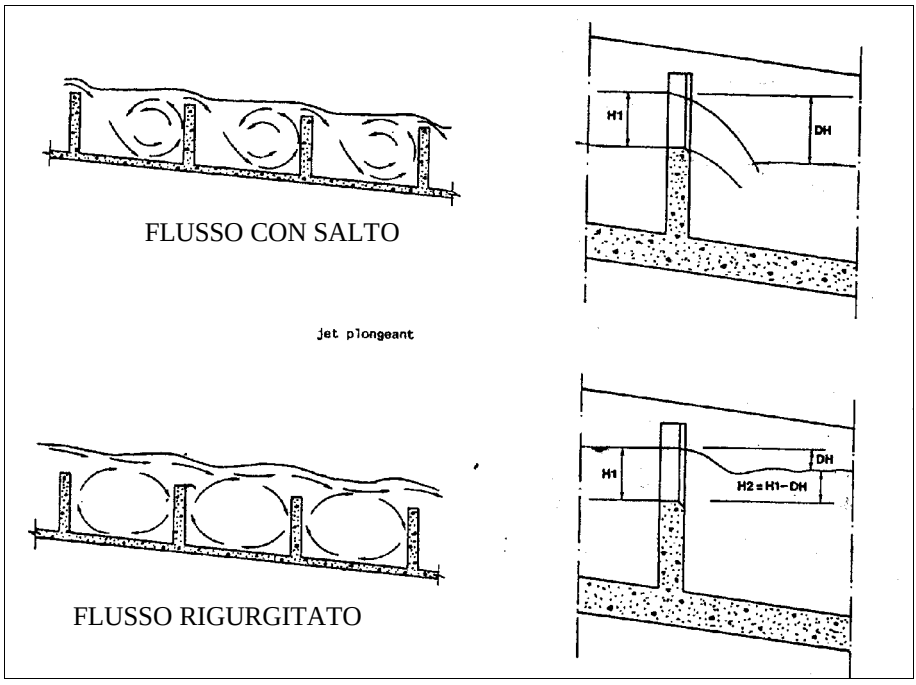
SCELTA DELLA MODALITÀ DI COMUNICAZIONE TRA I BACINI

La scelta della modalità di comunicazione tra due bacini contigui dipende in particolare da due parametri:

- le variazioni dei livelli di monte e di valle durante i periodi migratori;
- le specie che utilizzeranno il passaggio. Per esempio, per specie che non effettuano salti, si privilegiano orifizi di fondo o fessure laterali a flusso rigurgitato.

Nell'immagine seguente sono illustrate le due tipologie di flusso adottabili per il funzionamento delle fessure laterali. La tipologia a *flusso con salto* è indicata per specie che effettuano salti (salmonidi).
La presenza di specie ittiche che non effettuano salti e che hanno delle capacità natatorie ridotte, richiede la presenza di orifizi di fondo o comunque la presenza di fessure laterali profonde.

Figura 32: Tipologie di passaggio attraverso le fessure laterali (fonte: Lariner et al., 1992)



DEFINIZIONE DELLE DIMENSIONI DEI BACINI E DELLE APERTURE, NEL RISPETTO DELLA POTENZA MASSIMA DISSIPATA PER UNITÀ DI VOLUME

Una volta selezionati il dislivello tra i bacini ed il tipo di setti, occorre definire le dimensioni dei bacini e delle aperture che li collegano.
Le misure da adottarsi dipendono, oltre che dalla disponibilità idrica, dal tipo di pesci e dalle dimensioni degli stessi; inoltre esistono dei parametri di controllo che devono essere rispettati per rendere efficiente il passaggio.
Si riportano i principali vincoli da rispettare:

- la lunghezza di ogni singolo bacino deve essere superiore a 3 volte la lunghezza dei pesci di maggiori dimensioni;
- la larghezza delle fessure deve consentire il transito anche dei pesci di taglia maggiore; per pesci di grossa taglia si consigliano fessure laterali di larghezza di 0,3 – 0,4 metri; mentre per gli orifizi di fondo per pesci di grandi dimensioni la superficie deve essere di circa 0,1 m^2.

- rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza bacino (B) compreso tra 1,6 e 1,8;
- rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza fessura (b) compreso tra 7 e 12;
- rapporto larghezza bacino (L)/larghezza fessura (b) compreso tra 4 e 6;
- rapporto battente sullo stramazzo laterale (H)/dislivello tra bacini (delta H) superiore a 2 nel caso di funzionamento del collegamento tra bacini attraverso flusso rigurgitato.

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

A questo punto, noti tutti i parametri di progetto, applicando le formule dell'idraulica si determina la portata transitante attraverso le luci a battente (orifizi di fondo) e le luci a stramazzo (fenditure laterali).
La formula per il calcolo della portata attraverso la luce a battente sommersa è:

$$Q ? Cd ?S ?\sqrt{2 ?g ?? H}$$

in cui:

- S = sezione dell'orifizio [m^2];
- C_d =coefficiente di contrazione: funzione della forma e del profilo dell'orifizio.

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

$$Q ? Cd ?b ?H_1 ?\sqrt{2 ?g ?? H}$$

in cui:

- C_d = coefficiente di contrazione laterale
- b = larghezza della fessura [m];
- H_1 = è il carico sulla fessura [m].

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

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

$$Pv ? \frac{? * g * Q * ? H}{Va}$$

in cui:

- *Pv* = potenza dissipata per unità di volume [W/m^3];
- ?? = densità dell'acqua = 1000 [kg/m^3];
- Q = portata d'acqua [m^3/s];
- Va = volume d'acqua nel bacino [m^3].

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

VERIFICA DI FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI ESTREME DI LIVELLO (DI MONTE E DI VALLE)

Una volta individuati il livello di monte e quello di valle in base a cui progettare il passaggio per pesci, è opportuno valutare quale sia il *range* di variazione di detti parametri all'interno del quale viene comunque garantito il funzionamento del passaggio. Per fare questa operazione è fondamentale caratterizzare il regime idrologico del corso d'acqua, sia in termini assoluti, sia stagionali. Note queste caratteristiche del corso d'acqua, è possibile fissare dei livelli massimi e minimi a monte e a valle per i quali si ritiene che il passaggio debba funzionare correttamente (anche se non in condizioni ottimali), anche in relazione al comportamento migratorio delle specie ittiche presenti. Dopo avere dimensionato il passaggio per i livelli di progetto e fissati i livelli estremi di funzionamento, bisogna dunque verificare che il passaggio funzioni anche in condizioni limite; se questo non avviene, è necessario modificare le caratteristiche idrauliche del passaggio (e non i livelli di progetto) fino a quando è garantito il funzionamento anche in condizioni prossime a quelle limite.

SOLUZIONE PROPOSTA PER PORTO DELLA TORRE

LE CONDIZIONI AL CONTORNO DI PROGETTO

Le condizioni al contorno in base a cui dimensionare il passaggio per pesci sono state definite secondo quanto è emerso nei paragrafi precedenti; in particolare sono stati selezionati i livelli di monte e di valle più frequenti, analizzando anche la distribuzione di frequenza nei diversi mesi dell'anno e verificando che i valori scelti oltre ad essere i più frequenti in assoluto, si mantengano tali anche nei periodi più importanti per i flussi migratori.

Questo tipo di analisi è stato svolto attraverso l'analisi comparata delle condizioni stagionali dei livelli del fiume in prossimità dello sbarramento (figura 33) e dei periodi migratori delle specie ittiche presenti nel Fiume Ticino.

Per quanto riguarda i livelli di monte, si deduce che i livelli più bassi (che come si è visto si hanno sia in caso di piena che in caso di magra) sono stati registrati prevalentemente nei mesi di agosto, settembre ed ottobre; nei primi due mesi i bassi livelli sono associabili alle basse portate del Fiume Ticino (bassi livelli del Lago Maggiore), mentre nel mese di ottobre la causa è ascrivibile alle frequenti piene del fiume.

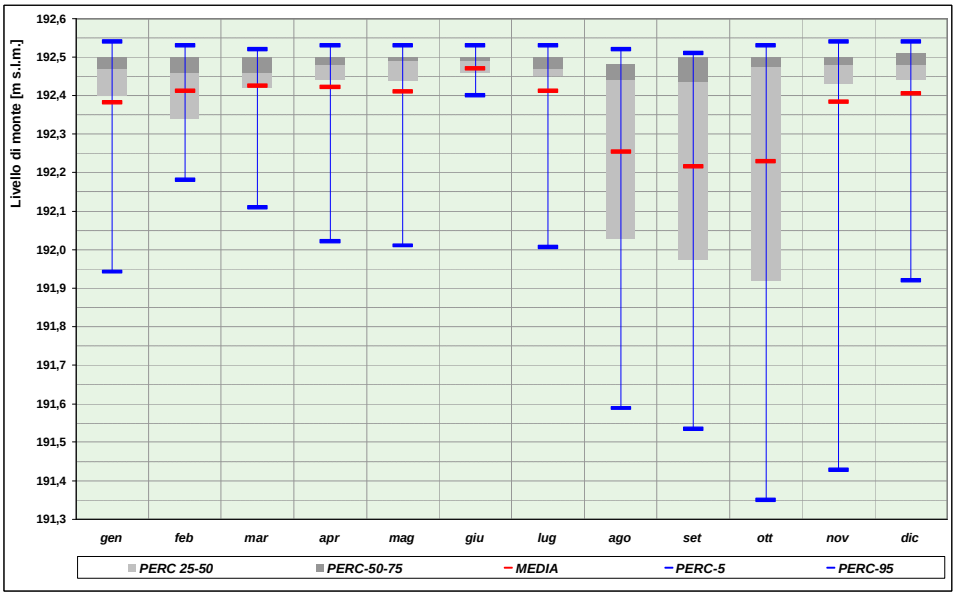
Alla luce di quanto appena esposto e dei risultati emersi dall'analisi statistica effettuata, si è scelto di progettare il passaggio in base a un livello di monte pari a **192,50 m s.l.m**. e di verificare il funzionamento per una condizione limite di 191,80 m s.l.m.; in base a quanto esposto nel paragrafo 0 riguardo alla gestione e alle caratteristiche idrauliche dello sbarramento, si è valutato di non verificare invece il funzionamento del passaggio per livelli superiori a 192,50 m s.l.m..

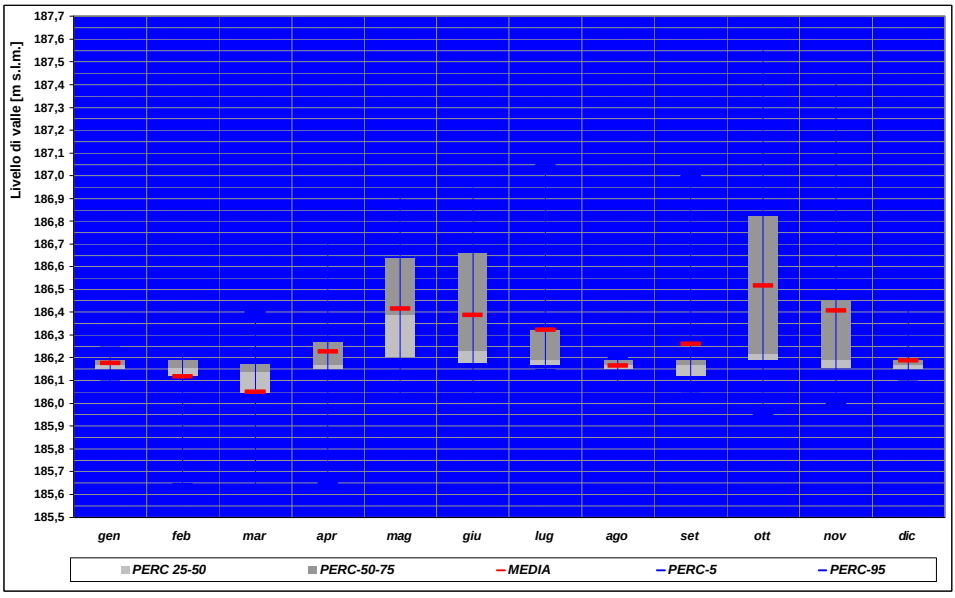
Analizzando invece la distribuzione stagionale dei livelli di valle, si nota che i livelli più bassi sono stati registrati nel periodo invernale, mentre i massimi sono stati registrati nei mesi autunnali. In particolare, i livelli inferiori a 185,90 m s.l.m. coincidono sempre con le magre invernali e sono relativamente rari (meno del 5% figura 16); i livelli superiori a 187,00 m s.l.m. si verificano nei periodi piovosi (tarda primavera e autunno) e rappresentano meno del 5% dei casi. Tali valori vengono assunti come estremi per le verifiche in condizioni

limite, mentre il passaggio viene progettato per un livello medio di **186,20 m s.l.m.**.

In base a quanto esposto si evince che il passaggio per pesci, in condizioni di progetto, dovrà superare un salto di circa 6,3 metri.

Figura 33: Distribuzione stagionale dei livelli a monte e a valle dello sbarramento di Porto della Torre





DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA

Il dimensionamento del passaggio per pesci è stato effettuato sulla base dei criteri esposti e delle considerazioni riportate nei precedenti paragrafi. Di seguito sono illustrati i principali parametri di progetto, le dimensioni del passaggio e le verifiche di corretto dimensionamento.

Tabella 4: Parametri di dimensionamento del passaggio di Porto della Torre

PARMETRI DI DIMENSIONAMENTO		
Parametro	**Valore**	**Motivazioni**
Dislivello tra due bacini	0,24 m	L'abbondanza nel fiume di pesci aventi capacità natatorie contenute impone dislivelli ridotti.
Livello idrico di monte	192,50 m s.l.m.	Valore definito nel paragrafo precedente.
Livello idrico di valle	186,20 m s.l.m.	Valore definito nel paragrafo precedente.
Tipologia di comunicazione tra bacini	fessura laterale a flusso rigurgitato + orifizio di fondo	L'abbondanza nel fiume di pesci che si spostano senza effettuare salti richiede la presenza dell'orifizio di fondo.
Larghezza fessura laterale	0,4 m	Garantire il passaggio anche a pesci di grossa taglia.
Dimensioni orifizio fondo	0,3 m x 0,3 m	
Lunghezza dei bacini	3,15 m	Garantire il passaggio di pesci di dimensioni che possono raggiungere e superare il metro (trota marmorata, luccio).
Larghezza dei bacini	1,8 m	

DIMENSIONI DEL PASSAGGIO	
Parametro	**Valore**
Portata defluente	circa 500 l/s
Numero di bacini	25
Lunghezza complessiva del passaggio	84 m
Lunghezza del canale di raccordo	157 m
Pendenza media	7,5%

CONFRONTO CON I VINCOLI DA RISPETTARE		
Parametro	**Valore**	**Range di valori consigliati**
Potenza specifica dissipata	141 W/m^3	<150 W/m^3 per ciprinidi <200 W/m^3 per salmonidi
Rapporto lunghezza/larghezza bacini	1,75	tra 1,6 e 1,8
Rapporto lunghezza bacino/larghezza fessura laterale	7,9	tra 7 e 12
Rapporto larghezza bacino/larghezza fessura laterale	4,5	tra 4 e 6
Rapporto battente sullo stramazzo/dislivello tra bacini	3,7	>2

Nell'Allegato 1 sono invece riportati tutti i parametri dimensionali ed un schema relativo ad un singolo bacino

Vista l'eterogeneità dei pesci che potranno fare uso del passaggio artificiale, esso è stato dimensionato in modo da consentire la risalita anche delle specie ittiche con minori capacità natatorie (ad esempio alcuni ciprinidi di taglia ridotta) e di pesci di grossa taglia (trote marmorate, storioni e lucci). Per questi motivi sono state fatte le seguenti scelte progettuali:

- il dislivello tra due bacini contigui è stato mantenuto inferiore a 25 cm, in modo da consentire la risalita dei pesci con minori capacità natatorie;
- il collegamento tra i bacini non avviene esclusivamente attraverso un salto, bensì mediante uno stramazzo rigurgitato e un orifizio di fondo; questa combinazione facilita la risalita sia delle specie ittiche che non effettuano salti, sia di specie abituate a muoversi sul fondo con velocità della corrente più contenute;
- le dimensioni dei bacini e delle fessure di collegamento sono sufficientemente grandi da consentire il passaggio di pesci di grossa taglia.

Con tali vincoli, il passaggio risulta avere una lunghezza complessiva di 84 m, distribuiti in 25 bacini; la pendenza media è inferiore all'8% e la portata defluente è pari a circa 500 l/s.

Le dimensioni adottate per i singoli bacini e per le luci di collegamento tra gli stessi rispettano i vincoli consigliati dalla bibliografia di settore per quanto riguarda i passaggi a bacini successivi.

Infine, la potenza specifica dissipata, indice della turbolenza all'interno dei bacini, si mantiene inferiore al valore indicato a garanzia della risalita anche delle specie ittiche con capacità natatorie più limitate.

FUNZIONAMENTO IDRAULICO DEL PASSAGGIO

Il funzionamento idraulico del passaggio artificiale è stato verificato sia per le condizioni di progetto che per le condizioni limite: in particolare sono state considerate due situazioni corrispondenti a basse portate del fiume, in cui verificare il funzionamento idraulico del passaggio. Sono state quindi effettuate le simulazioni di funzionamento per i quattro casi riportati nella seguente tabella; nell'Allegato 1 sono riportati i profili ed i valori assunti dai parametri idraulici nei 4 casi analizzati.

Tabella 5: Condizioni per le quali è stata effettuata la verifica di funzionamento

Condizioni di funzionamento	Livello di monte [m s.l.m.]	Livello di valle [m s.l.m.]	Portata [l/s]
Progetto	192,50 *(80° percentile)*	186,20 *(40° percentile)*	500
Piena	192,50 *(80° percentile)*	187,00 *(95° percentile)*	500
Magra 1	191,80 *(5° percentile)*	185,90 *(5° percentile)*	130
Magra 2	192,00 *(10° percentile)*	185,90 *(5° percentile)*	280

Riguardo al funzionamento idraulico del passaggio in **condizioni di progetto**, dalle schede riportate in allegato si evince che:

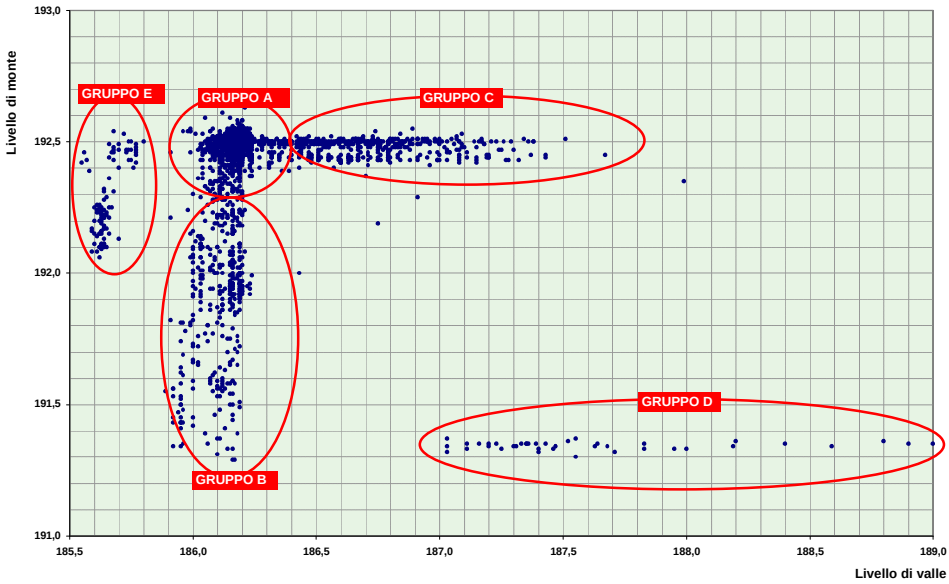
- il passaggio funziona a stramazzo rigurgitato e a battente (per quanto riguarda l'orifizio di fondo);
- il battente idrico nei bacini si mantiene attorno a 1,5 metri ed il carico idraulico sulla soglia dello stramazzo è pari a 0,9 metri;
- le condizioni idrauliche di cui ai punti precedenti e quelle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

Al variare dei livelli idrici di monte e di valle si modificano le condizioni di funzionamento del passaggio: in particolare il variare dei livelli di monte determina delle variazioni della portata in ingresso, mentre variazioni del livello di valle determinano un annegamento degli ultimi bacini con conseguente riduzione del livello idrico tra gli stessi.

Nel caso del caso specifico dello sbarramento di Porto della Torre, come è già stato illustrato nel paragrafo 0, durante le piene del fiume le condizioni di monte presentano un comportamento anomalo: in presenza di portate particolarmente elevate del Fiume Ticino, infatti, le paratoie che costituiscono lo sbarramento vengono aperte determinando invece che un progressivo innalzamento del livello di monte, un abbassamento dello stesso (figura 18 e figura 34). Durante le piene a carattere meno eccezionale, invece il livello di monte viene mantenuto sempre a 192,50 m s.l.m., mentre si registra un aumento del livello di valle. Per questo motivo, la verifica di funzionamento non è stata effettuata per le piene eccezionali (Gruppo D), sia per la bassa frequenza che le caratterizza, sia perché in queste circostanze i pesci

comunque non tendono a risalire il corso d'acqua, ma è stata invece effettuata per le piene del gruppo C. In questo secondo caso, il funzionamento del passaggio è analogo a quello visto per le condizioni di progetto, fatta eccezione per l'annegamento dei bacini più a valle (che non determina alcun mal funzionamento del passaggio) che è tanto maggiore, quanto più è alto il livello di valle.

Figura 34: Correlazione tra livelli a monte e a valle dello sbarramento di Porto della Torre



LEGENDA:
Gruppo A: condizioni normali

Gruppo B: condizioni di magra, dovute a livelli bassi nel Lago Maggiore

Gruppo C: condizioni di piena non eccezionale

Gruppo D: condizioni di piena eccezionale

Gruppo E: comportamento anomalo dovuto alla gestione della sbarramento di Panperduto

Per quanto riguarda infine le verifiche fatte per le condizioni di magra, durante le quali sia il livello di monte che quello di valle sono più bassi di quelli di progetto, sono state effettuate due verifiche: in entrambi i casi si è assunto come livello di valle 185,90 m s.l.m., corrispondente in termini statistici al 5° percentile, mentre per il livello di monte si è

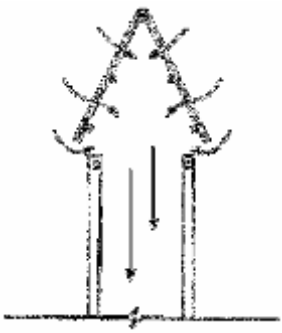
assunto in un caso (magra 1) 191,80 m s.l.m. (10° percentile), nell'altro caso 192,00 m s.l.m. (5° percentile)[8].
Analizzando i risultati delle simulazioni relative a questi due casi riportate in allegato, si osserva che:

- in entrambi i casi, la portata che defluisce nel passaggio diminuisce e di conseguenza anche il richiamo dei pesci a valle ne risente negativamente (anche se spesso diminuisce anche la portata turbinata);
- nel caso "magra 1", la fessura laterale non funziona più a stramazzo rigurgitato, ma a battente ed il carico sulla fessura varia tra 0,20 m e 0,24 m (eccetto l'ultimo bacino che è in parte annegato);
- nel caso "magra 2", lo stramazzo continua invece ad essere rigurgitato;
- in entrambi i casi la potenza specifica dissipata, a causa della portata ridotta, è particolarmente bassa (<70 W/m^3 nel caso magra 1 e <120 W/m^3 nel caso magra 2);

In conclusione si evince che il passaggio funziona correttamente sia in condizioni di piena (eccetto gli eventi straordinari) che in condizioni di magra; in quest'ultimo caso l'elemento limitante diventa la portata che defluisce nel passaggio che riduce l'effetto di richiamo a valle e nei casi estremi modifica il funzionamento dello stramazzo costringendo i pesci o a saltare, o a passare dall'orifizio di fondo.

CARATTERISTICHE DEL PASSAGGIO PER PESCI

Nel presente paragrafo si illustrano le principali caratteristiche del passaggio per pesci; i riferimenti numerici dell'elenco puntato corrispondono alla numerazione degli elementi indicati nella tavola grafica allegata alla presente relazione (Allegato 3).



1) *Protezione del passaggio a monte*

Si prevede di collocare a monte del canale di collegamento una griglia a maglie larghe (25-30 cm) del tipo illustrato nella figura a lato, con lo scopo di trattenere i corpi flottanti che potrebbero essere trasportati all'interno del passaggio.

[8] In questi casi il valore del percentile tiene anche conto dei livelli bassi dovuti all'apertura delle paratoie durante le piene; la frequenza cumulata relativa ai soli periodi di magra è dunque più bassa.

2) <u>Paratoia</u>

É prevista la presenza di una paratoia all'inizio del passaggio per permettere l'interruzione del flusso idrico in ingresso; in questo modo è possibile effettuare degli interventi di manutenzione dell'opera senza la presenza di acqua nei bacini (l'orifizio di fondo ne permette lo svuotamento).

Nell'immagine seguente (foto scattata da monte verso valle) si evidenzia il punto d'inizio del canale di collegamento in cui è prevista la griglia e la paratoia.

Come già illustrato, è necessario creare un **canale di collegamento tra l'alveo a monte ed il primo bacino del passaggio**. Il canale avrà le seguenti caratteristiche:

- medesima larghezza del passaggio per pesci (1,8 metri);
- lunghezza complessiva di circa 150 metri;
- altezza, in relazione alla quota dell'area in cui è collocato;
- copertura con griglia carrabile, ad esclusione del tratto in galleria sotto la strada statale; tale accorgimento permette l'illuminazione naturale del canale che altrimenti vista la lunghezza rimarrebbe in gran parte buio;
- sul fondo è prevista la presenza di piccoli pennelli sommersi per creare zone in cui è ridotta la velocità della corrente, ideale rifugio per i pesci.

Nei punti 3), 4), 5) e 6) si descrivono sommariamente i tratti in cui è suddiviso il canale.

3) <u>Primo tratto del canale di accesso al passaggio</u>

Il primo tratto del canale collega l'alveo di monte del Fiume Ticino al tratto sotto la strada; si prevede di collocare sopra il canale una griglia carrabile al fine di permettere il transito in quest'area di mezzi impiegati per la manutenzione della centrale idroelettrica ed in particolare del canale di presa.

4) *<u>Tratto del canale sottostante la strada</u>*

Al fine di superare l'"ostacolo" posto dalla strada statale, il canale dovrà essere realizzato in galleria per un tratto di circa 10 metri.

5) *<u>Tratto sotto il piazzale della centrale</u>*

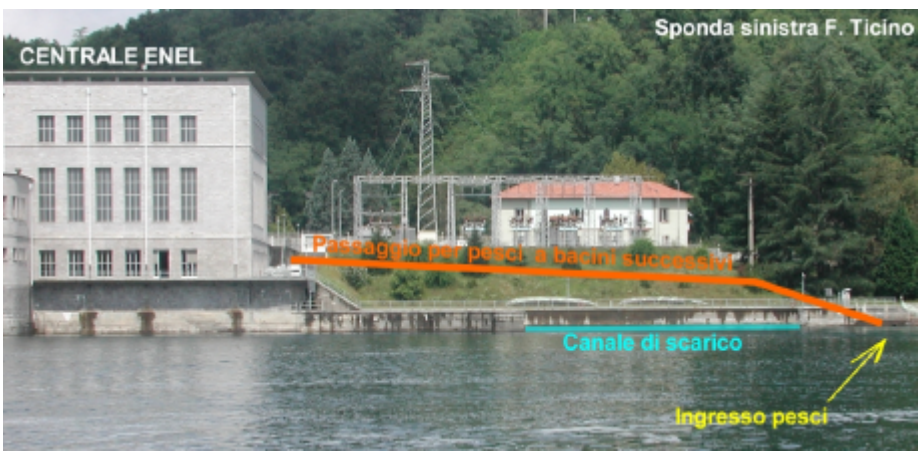
Si prevede di collocare sopra il canale una griglia carrabile per permettere il movimento dei mezzi nel piazzale.

6) <u>Bacino per il monitoraggio del passaggio</u>

Nel tratto finale del canale è previsto un bacino particolare in cui sarà predisposto il sistema necessario per effettuare il monitoraggio. In particolare una parete del bacino verrà realizzata in materiale trasparente per permettere la visione dei pesci in risalita dall'interno dell'edificio (7) ed effettuare la ripresa in continuo per il monitoraggio.

7) <u>Passaggio a bacini successivi</u>

Il passaggio, come già ampiamente illustrato nei paragrafi precedenti, ha una lunghezza complessiva di circa 84 metri ed una larghezza utile dei bacini di 1,8 metri. I setti che separano i bacini, dovranno essere collocati in modo tale da creare un'alternanza tra le fessure. In questo modo si evita l'insorgere nei bacini di cortocircuiti idraulici, con velocità della corrente non compatibile alla risalita dei pesci (si veda il particolare della sezione contenuto nell'Allegato 3).



La base dei bacini dovrà essere creata con materiale inerte grossolano (ghiaia e ciottoli), avente la funzione di substrato adatto alla fauna ittica e bentonica.

8) Edificio contenente il sistema di monitoraggio

È prevista la realizzazione di un edificio in corrispondenza del tratto finale del canale in cui collocare la strumentazione per il monitoraggio in continuo del passaggio per pesci. L'edificio servirà inoltre da aula didattica, all'interno della quale si potranno osservare attraverso un pannello trasparente i pesci in risalita.

Esperienze di questo tipo sono in atto in Europa; in particolare in Francia sono stati installati con successo dei sistemi di controllo mediante l'uso del computer e della videocamera che permettono, in automatico, la conta dei pesci e l'individuazione della specie. Il sistema previsto è illustrato schematicamente in figura 37.

Infine si prevede di realizzare in corrispondenza del passaggio una canaletta adatta alla risalita delle anguille nello stadio giovanile, dette "ragani". Tale accorgimento si ritiene necessario in quanto i ragani non sono in grado di resistere alle corrente presente nel passaggio.

I dettagli delle caratteristiche costruttive sopra elencate dovranno essere definiti nella fase di progettazione esecutiva.

SOLUZIONE PROPOSTA PER PANPERDUTO

LE CONDIZIONI AL CONTORNO DI PROGETTO

Le condizioni al contorno in base a cui dimensionare il passaggio per pesci sono state definite secondo quanto è emerso; a differenza di quanto è stato esposto in merito allo sbarramento di Porto della Torre, qui i livelli di riferimento non risentono significativamente né delle variazioni stagionali, né di quelle dovute al regime idrologico del fiume (fatta eccezione per i casi estremi). Per quanto riguarda i livelli di monte, questi sono determinati essenzialmente da come viene gestita la derivazione ed in particolare dal livello che viene mantenuto nel bacino di distribuzione: questo livello è stato negli ultimi anni nell'intorno di 186 m s.l.m. e, più precisamente, da giugno del 2001 viene costantemente mantenuto a **186,02 m s.l.m.**.

Per quanto riguarda il livello di valle, l'assenza di dati misurati non consente di fare elaborazioni statistiche riguardo alla variabilità dello stesso, ma è comunque possibile fare alcune considerazioni generali in base a quanto si è potuto osservare durante i sopralluoghi. Come si può osservare dallo schema di figura 19 e dalla foto centrale di figura 22, il punto di richiamo del passaggio coincide con un pozza a ridosso del muro di separazione dal bacino di distribuzione che viene alimentata esclusivamente dai 7 m^3/s rilasciati dal dissabbiatore; da questo punto la vena principale procede verso valle ed un flusso secondario taglia l'alveo in direzione del ramo destro. Questo punto è inoltre protetto dalle opere di regolazione del bacino di distribuzione e quindi non viene quasi mai coinvolto dal deflusso dell'acqua che sfiora sopra lo sbarramento. Si può concludere che il livello idrico in questa pozza è determinato esclusivamente dalla portata che la alimenta (sempre pari a 7 m^3/s) e dalla morfologia dell'alveo in questa zona che, essendo protetta dalle opere di regolazione, dovrebbe essere stabile, non essendo stata modificata nemmeno dalla piena storica di Ottobre 2000. Si può quindi ipotizzare che a valle del passaggio il livello non si discosti sensibilmente dal valore di **181,90 m s.l.m.**.

In base a quanto esposto si è quindi valutato che non sia necessario verificare il funzionamento del passaggio per condizioni diverse da quelle di progetto, condizioni in cui il passaggio per pesci dovrà

superare un salto di circa 4,1 metri. È invece necessario verificare come varia il dislivello tra il bacino di distribuzione e l'alveo a monte, per valutare con che frequenza i pesci possono risalire attraverso le paratoie di regolazione, come sarà di seguito esposto.

DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA

Il dimensionamento del passaggio per pesci è stato effettuato sulla base dei criteri esposti nel capitolo 5 e delle considerazioni riportate nel precedente paragrafo.
Nella tabella che segue sono illustrati i principali parametri di progetto, le dimensioni del passaggio e le verifiche di corretto dimensionamento; nell'Allegato 2 sono invece riportati tutti i parametri dimensionali ed un schema relativo ad un singolo bacino.
Il dimensionamento del passaggio artificiale è stato effettuato in base alle stesse condizioni di cui si è tenuto conto nel dimensionamento del passaggio per Porto della Torre. Per rispettare i vari vincoli progettuali e le necessità specifiche già esposte, sono dunque state fatte le seguenti scelte progettuali:

- il dislivello tra due bacini contigui è stato mantenuto inferiore a 25 cm;
- il collegamento tra i bacini avviene esclusivamente attraverso uno stramazzo rigurgitato e un orifizio di fondo;
- le dimensioni dei bacini e delle fessure di collegamento sono sufficientemente grandi da consentire il passaggio di pesci di grossa taglia;
- le dimensioni dei singoli bacini e delle luci di collegamento tra gli stessi rispettano i vincoli consigliati;
- la potenza specifica dissipata si mantiene inferiore a 150 W/m^3, valore indicato a garanzia della risalita anche delle specie ittiche con capacità natatorie più limitate.

Con tali vincoli, il passaggio risulta avere una lunghezza complessiva di 54 m, distribuiti in 16 bacini; la pendenza media è inferiore al'8% e la portata defluente è pari a circa 500 l/s.

Tabella 6: Parametri di dimensionamento del passaggio per pesci di Panperduto

PARMETRI DI DIMENSIONAMENTO		
Parametro	**Valore**	**Motivazioni**
Dislivello tra due bacini	0,24 m	L'abbondanza nel fiume di pesci aventi capacità natatorie contenute impone dislivelli ridotti.
Livello idrico di monte	186,02 m s.l.m.	Valore definito nel paragrafo precedente.
Livello idrico di valle	181,90 m s.l.m.	Valore definito nel paragrafo precedente.
Tipologia di comunicazione tra bacini	fessura laterale a flusso rigurgitato + orifizio di fondo	L'abbondanza nel fiume di pesci che si spostano senza effettuare salti richiede la presenza dell'orifizio di fondo.
Larghezza fessura laterale	0,4 m	Garantire il passaggio anche a pesci di grossa taglia.
Dimensioni orifizio di fondo	0,3 m x 0,3 m	
Lunghezza dei bacini	3,15 m	Garantire il passaggio di pesci di dimensioni che possono raggiungere e superare il metro (trota marmorata, luccio).
Larghezza dei bacini	1,8 m	

DIMENSIONI DEL PASSAGGIO	
Parametro	**Valore**
Portata defluente	circa 500 l/s
Numero di bacini	17
Lunghezza complessiva del passaggio	54 m
Pendenza media	7,7 %

CONFRONTO CON I VINCOLI DA RISPETTARE		
Parametro	**Valore**	**Range di valori consigliati**
Potenza specifica dissipata	141 W/m^3	< 150 W/m^3 per ciprinidi < 200 W/m^3 per salmonidi
Rapporto lunghezza/larghezza bacini	1,75	tra 1,6 e 1,8
Rapporto lunghezza bacino/larghezza fessura laterale	7,9	tra 7 e 12
Rapporto larghezza bacino/larghezza fessura laterale	4,5	tra 4 e 6
Rapporto battente sullo stramazzo/dislivello tra bacini	3,7	> 2

FUNZIONAMENTO IDRAULICO DEL PASSAGGIO

In base a quanto esposto, il funzionamento idraulico del passaggio artificiale è stato verificato esclusivamente per le condizioni di progetto, con le condizioni al contorno riassunte nella seguente tabella; nell'Allegato 2 sono riportati i profili ed i valori assunti dai parametri idraulici.

Tabella 7: Condizioni per le quali è stata effettuata la verifica di funzionamento

Condizioni di funzionamento	**Livello di monte [m s.l.m.]**	**Livello di valle [m s.l.m.]**	**Portata [l/s]**
Progetto *(valide anche per piena e magra)*	186,02 *(95° percentile)*	181,90	500

Dalle schede riportate in allegato si evince che:

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

Nelle condizioni di progetto, che come si è visto corrispondono alle uniche condizioni idrauliche in cui il passaggio deve funzionare,[9] il passaggio funziona correttamente.

Per quanto riguarda invece la risalita dei pesci attraverso le paratoie che costituiscono l'opera di regolazione tra l'alveo a monte ed il bacino di distribuzione, è stata effettuato un confronto tra la distribuzione di frequenza della differenza di livello a monte e a valle delle paratoie (figura 35), la velocità della corrente corrispondente ad ogni differenza di livello (tabella 8) e le capacità dei pesci di risalire una corrente con dette velocità (figura 31).

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

[9] Le uniche eccezioni sono infatti costituite da. a) eventi di piena straordinari, b) interruzione del flusso in uscita dal dissabbiatore o brusco abbassamento del livello nel bacino di carico per interventi di manutenzione straordinaria.

differenze di livello inferiori a 0,20 – 0,25 m, le opere di regolazione possono essere attraversate dai pesci in risalita; queste circostanze si verificano con una frequenza di circa il 50%.
Se si limita l'analisi ai soli pesci con buone capacità natatorie, si osserva che le paratoie possono essere attraversate praticamente sempre, in quanto tali pesci riescono a risalire per brevi tratti correnti con velocità superiori a 2 m/s.
In conclusione si ricorda che in ogni caso la presenza delle paratoie non costituisce comunque un problema alla risalita dei pesci in quanto questi, dopo avere raggiunto il bacino di distribuzione attraverso il passaggio artificiale, possono comunque aspettare che il livello a monte delle opere di regolazione diminuisca fino a che la velocità attraverso l'opera di regolazione sia tale da poter consentire la risalita controcorrente.

Figura 35: Distribuzione di frequenza della differenza di livello tra monte e valle delle opere di regolazione

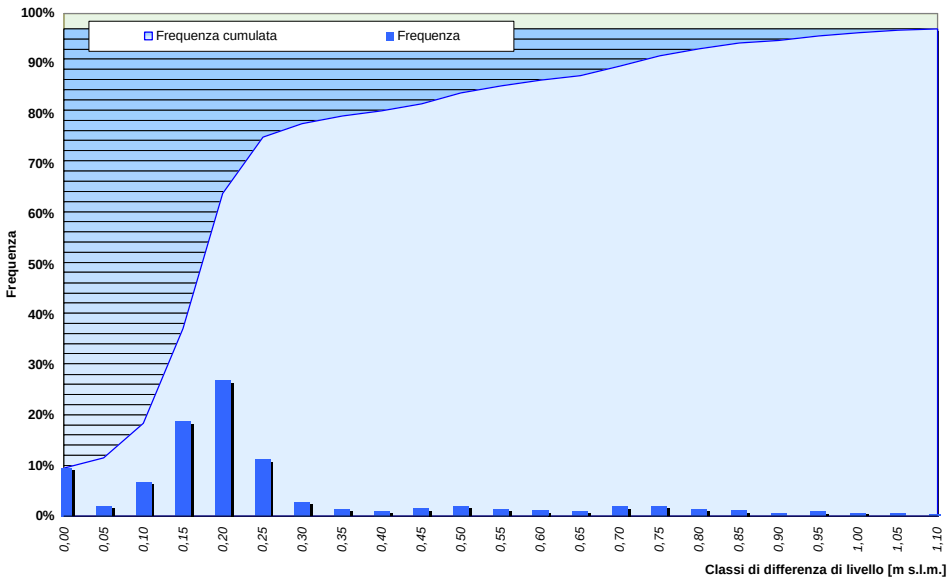


Tabella 8: Velocità medie corrispondenti ad ogni classe di differenza di livello monte-valle

Classe di differenza di livello [m]	Frequenza	Frequenza cumulata	Velocità media corrispondente [m/s]
0,00 - 0,05	10%	9,5%	0,3
0,05 - 0,10	2%	11,6%	0,8
0,10 - 0,15	7%	18,4%	1,1
0,15 - 0,20	19%	37,3%	1,2
0,20 - 0,25	27%	64,2%	1,4
0,25 - 0,30	11%	75,4%	1,6
0,30 - 0,35	3%	78,1%	1,7
0,35 - 0,40	1%	79,6%	1,8
0,40 - 0,45	1%	80,6%	1,9
0,45 - 0,50	1%	82,1%	2,1
0,50 - 0,55	2%	84,1%	2,2
0,55 - 0,60	1%	85,5%	2,3
0,60 - 0,65	1%	86,7%	2,4
0,65 - 0,70	1%	87,7%	2,5
0,70 - 0,75	2%	89,6%	2,5
0,75 - 0,80	2%	91,6%	2,6
0,80 - 0,85	1%	92,9%	2,7
0,85 - 0,90	1%	94,1%	2,8
0,90 - 0,95	1%	94,6%	2,9
0,95 – 1,00	1%	95,5%	3,0
> 1,00	5%	96,2%	3,5

CARATTERISTICHE DEL PASSAGGIO PER PESCI

Nel presente paragrafo si illustrano le principali caratteristiche del passaggio per pesci; i riferimenti numerici dell'elenco puntato corrispondono alla numerazione degli elementi indicati nella tavola grafica allegata alla presente relazione (Allegato 4).

1) Passaggio a bacini successivi

Il passaggio, come già ampiamente illustrato nei paragrafi precedenti, ha una lunghezza complessiva di circa 54 metri ed una larghezza utile dei bacini di 1,8 metri. I setti che separano i bacini, dovranno essere

collocati in modo tale da creare un'alternanza tra le fessure. In questo modo si evita l'insorgere nei bacini di cortocircuiti idraulici, con velocità della corrente non compatibile alla risalita dei pesci (si veda il particolare della sezione contenuto nell'Allegato 4).
La base dei bacini dovrà essere creata con materiale inerte grossolano (ghiaia e ciottoli), avente la funzione di substrato adatto alla fauna ittica e bentonica.

2) <u>Protezione del passaggio a monte</u>
Si prevede di collocare a monte del canale di collegamento una griglia a maglie larghe (25-30 cm), con lo scopo di trattenere eventuali corpi flottanti che potrebbero essere trasportati all'interno del passaggio.
3) <u>Paratoia</u>
É prevista la presenza di una paratoia all'inizio del passaggio per permettere l'interruzione del flusso idrico in ingresso; in questo modo è possibile effettuare degli interventi di manutenzione dell'opera senza la presenza di acqua nei bacini (l'orifizio di fondo ne permette lo svuotamento).
Nella figura 36 si evidenzia il punto d'inizio del canale di collegamento in cui sono previste la griglia e la paratoia.
4) <u>Bacino d'angolo</u>
Le dimensioni di questo bacino sono maggiori rispetto a quelle degli altri bacini, al fine di evitare i cortocircuiti idraulici
5) <u>Bacino d'ingresso (valle)</u>
Al fine di direzionare il flusso idrico in uscita dal passaggio in direzione parallela rispetto al flusso rilasciato dallo scaricatore posto poco a monte, è previsto un bacino di raccordo delle dimensioni di 3 m x 3 m; tale bacino eviterà inoltre l'intasamento delle fessure del primo setto di monte dovute al trasporto solido.

I dettagli delle caratteristiche costruttive sopra elencate, dovranno essere definiti nella fase di progettazione esecutiva.

Figura 36: punto d'inizio del canale di collegamento in cui sono previste la griglia e la paratoia

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Un passaggio artificiale per fauna ittica prevede tre fasi temporali e spaziali:

1. Attrazione verso il dispositivo
2. Il passaggio stesso (movimento all'interno del dispositivo)
3. Effetti post-passaggio (stress, mortalità istantanea o ritardata, lesioni, suscettibilità alla predazione).

Valutare l'efficacia di un passaggio artificiale significa controllare, tramite opportune tecniche sperimentali, ciascuna di queste fasi (Odeh M., 1999).

A livello internazionale sono stati sperimentati differenti metodi di verifica del funzionamento di un passaggio artificiale, raggruppabili in due categorie:

- metodi indiretti, relativi cioè al controllo del funzionamento idraulico e meccanico del passaggio, alla sua posizione rispetto all'alveo;
- metodi diretti, che consistono nella raccolta di informazioni biologiche, indicatrici del passaggio dei pesci attraverso il dispositivo e quantitative, quali il conteggio dei pesci che passano.

METODI INDIRETTI

L'obiettivo delle verifiche indirette, attraverso un sopralluogo sull'opera ed una specifica serie di misure, è innanzi tutto quello di assicurare che il passaggio artificiale sia conforme ai criteri definiti sul progetto.

Una volta confermata tale conformità, si passa a verificare che le caratteristiche strutturali del dispositivo stesso così com'è stato concepito, e le caratteristiche morfologiche ed idrauliche, siano idonee e tali da consentire il passaggio della fauna ittica. Questa verifica necessita, a monte, la conoscenza delle specie ittiche che, all'interno del tratto fluviale d'interesse, hanno bisogno del passaggio artificiale per compiere gli abituali movimenti.

È inoltre necessario conoscere i periodi migratori e le capacità natatorie delle specie d'interesse, che si differenziano non solo in funzione della specie ma anche della taglia e della temperatura.

Una volta raccolte le informazioni biologiche, si può procedere ad uno o più sopralluoghi sull'opera, con l'obiettivo di verificare che il

dispositivo, così concepito e gestito, sia effettivamente funzionale al passaggio.

Le verifiche indirette consistono nelle seguenti operazioni:

- ***Controllo dei parametri idraulici***: si tratta di misure idrauliche da eseguire in differenti punti del dispositivo, ad esempio a monte e a valle o in particolari punti, con l'obiettivo di verificare che la profondità dell'acqua, la velocità di corrente, la turbolenza, l'altezza dei "salti" all'interno del dispositivo, in ingresso e in uscita, siano sempre compatibili con le particolari esigenze di nuoto di ogni specie e stadio vitale di cui s'intende garantire il passaggio. Le misure devono essere eseguite in diverse condizioni di portata (magra, morbida) ed in particolare in corrispondenza di quelle tipiche del periodo di migrazione più intensa. Ovviamente è necessario essere a conoscenza dei requisiti idraulici tollerabili dalle specie in questione.
- ***Controllo degli organi meccanici***: per i dispositivi a bacini successivi e a rallentamento consiste nel controllo delle strutture che regolano il flusso d'acqua. Per i dispositivi a chiuse o in caso di ascensori, si va a controllare l'insieme dei meccanismi che assicurano lo svolgimento del ciclo di funzionamento (durata di ciascuna fase, coordinazione fra le varie fasi).
- ***Rilievo dell'alveo di magra a monte e a valle dell'opera***: è importante verificare che l'acqua sia concentrata, durante il periodo di magra, all'imbocco del passaggio e che un ulteriore ed eventuale deflusso a valle dello sbarramento non eserciti un richiamo, che allontani i pesci dall'imbocco del passaggio.
- ***Valutazione dell'ostruzione del dispositivo***: l'ostruzione del dispositivo può essere imputata a corpi di varia natura, che possono impedire il passaggio dei pesci oppure che determinano una riduzione del potere di attrazione del dispositivo stesso. I punti più delicati da controllare sono l'uscita, le aperture fra bacini, i punti di immissione dell'acqua, le eventuali pompe per l'acqua.

METODI DIRETTI

La verifica diretta del funzionamento di un passaggio artificiale per la fauna ittica può essere effettuata tramite differenti operazioni.
La scelta del tipo di verifica dipende da numerosi fattori, quali la tipologia di passaggio artificiale, le specie ittiche d'interesse, nonché dalla disponibilità di tempo, personale da impegnare e risorse economiche.
Vengono in seguito analizzati i principali metodi utilizzati a livello internazionale per la verifica diretta; tra questi è stato infine individuato il metodo impiegato per il presente lavoro sperimentale, che è stato quindi descritto specificando tutte le fasi previste, le attività svolte ed i risultati attesi.

VALUTAZIONE DELLA DENSITÀ DEI PESCI A VALLE DELLO SBARRAMENTO

Una densità elevata a valle del passaggio artificiale indica un probabile addensamento di pesci che non riescono a passare.
Questa valutazione può essere effettuata innanzi tutto mediante un'osservazione visiva delle zone a valle dell'ostacolo, in quanto può verificarsi che i pesci siano ben visibili; pur trattandosi di una valutazione solo qualitativa, essa è in grado di fornire informazioni attendibili sul funzionamento del dispositivo.
Per una valutazione quantitativa si deve invece ricorrere ad un campionamento ittico a valle dello sbarramento, da condurre mediante elettropesca; può essere utile un confronto fra la densità a valle e quella a monte del passaggio artificiale, anch'essa da determinare mediante un campionamento con elettropesca.
Ovviamente il tutto implica che ci sia un adeguato DMV tale da consentire, oltre all'eventuale funzionamento del passaggio, anche la presenza di pesci a valle dello sbarramento; senza un adeguato deflusso, infatti, le densità a valle dello sbarramento saranno basse anche se il passaggio non funziona.
Un'ulteriore fonte informativa è costituita dalla struttura di popolazione a valle del passaggio, che può dare indicazioni su eventuali selezioni delle taglie degli individui che riescono a passare. La definizione della struttura di popolazione può essere ricavata da campionamento ittico, rilevando la taglia degli individui catturati.

MONITORAGGIO IN CONTINUO

Si tratta di monitorare, per un periodo significativo, gli individui che migrano.
Questo metodo prevede il conteggio dei pesci a monte della scala, cioè degli individui che hanno utilizzato il passaggio artificiale per superare l'ostacolo.
Questo monitoraggio può essere effettuato secondo differenti modalità:
Cattura dei pesci: consiste nel catturare i pesci in un dispositivo apposito (trappola), posto all'interno del passaggio o presso l'uscita. Gli individui catturati vengono in seguito identificati e contati manualmente, e successivamente vengono rilasciati a monte del passaggio.
Le trappole sono dispositivi tipo nassa o vasca di stoccaggio, il cui dimensionamento dipende dalle dimensioni del passaggio oltre che dal numero massimo istantaneo di pesci potenzialmente presenti (picco giornaliero di migrazione) e della frequenza prevista dei controlli.
Il rilascio a monte può essere effettuato mediante manipolazione dei pesci (es. retino) o direttamente (es. apertura di una griglia/chiusa verso monte).
Le trappole devono essere ispezionate giornalmente o comunque secondo una cadenza, dipendente dalla presunta intensità di passaggio e dalla/e specie, che non metta a rischio la vita stessa dei pesci catturati.
La cattura degli individui consente di rilevare dati sia sul numero e la specie dei pesci che passano, sia sulle loro caratteristiche individuali (lunghezza, peso, età, stato di salute ecc.). Questa operazione deve essere chiaramente concentrata nel periodo della migrazione e lo sforzo richiesto, variabile con l'intensità migratoria e con le esigenze delle specie, rimane comunque piuttosto limitato.
L'impiego di tale metodo è vincolato dalla possibilità di introdurre una qualsiasi tipologia di trappola nella struttura. Ulteriori problemi sono ad esempio il prolungato stazionamento dei pesci nella trappola o il bracconaggio.
Controllo visivo o mediante telecamera: nel caso di tipologie di passaggio artificiale che consentano l'osservazione diretta, è possibile verificare visivamente se e quali taglie e specie di pesci riescono a passare.
Il monitoraggio deve essere effettuato per un tempo significativo, durante la stagione migratoria; potrebbe essere necessario seguire i

movimenti non solo durante il giorno, ma anche mediante osservazioni notturne nel caso in cui sia noto, da letteratura o esperienza professionale, che una specie abbia un tale comportamento.
Questa tecnica di monitoraggio presenta il vantaggio significativo di non richiedere la cattura dei pesci, e quindi di non sottoporre gli animali a stress fisico e psicologico conseguente all'intrappolamento e al maneggiamento da parte dell'operatore.
L'osservazione dei pesci che passano attraverso il passaggio può essere effettuata superiormente o lateralmente, forzando gli animali a passare in una apposita zona ristretta del passaggio in cui possono essere contati e classificati dall'operatore.
Tra queste due soluzioni si può affermare che la migliore è l'osservazione laterale, poiché anche se entrambi i metodi consentono di contare facilmente i pesci di passaggio, una visione laterale presenta il vantaggio di poter identificare molto più facilmente la specie di appartenenza del pesce in transito rispetto ad una visione dall'alto.
L'osservazione laterale prevede che i pesci siano costretti a passare in una apposita strettoia, la cui larghezza al momento della realizzazione deve essere dimensionata in modo da non comprometterne il passaggio nonché in funzione della torbidità dell'acqua. La dimensione di tale strettoia può variare da 30 a 100 cm., anche se si può affermare che nella maggior parte dei casi una dimensione media di 40-50 cm. appare adeguata.
La parete verticale di fondo della strettoia deve essere costituita da un pannello di colore chiaro, in modo che il contorno e i colori dei pesci di passaggio siano facilmente visibili, mentre l'altra parete verticale deve essere costituita da un pannello di vetro, attraverso cui l'operatore, posto al di là di essa in una apposita stanza, possa vedere ciò che accade all'interno del passaggio.
Risulta importante per un corretto lavoro da parte del personale, e quindi per minimizzare il margine dell'errore umano, provvedere ad una adeguata illuminazione della strettoia in modo da facilitare la visibilità di ciò che accade nell'area interessata. Risulta indispensabile inoltre una illuminazione artificiale della strettoia qualora si voglia operare anche nelle ore notturne; a tale scopo si provvederà all'installazione di apposite lampade impermeabili sul fondo del passaggio, nonché all'installazione di apposite lampade che illuminino il passaggio attraverso la parete di vetro laterale.
Una condizione importante per poter contare e identificare i pesci che passano di fronte all'osservatore è la velocità dell'acqua nella strettoia,

che deve essere tale da permettere la conta e l'identificazione delle specie di pesci in tempo reale. A tale scopo i pesci non dovrebbero avere né la possibilità di sostare nella strettoia, né di tornare indietro nel passaggio, e tantomeno dovrebbero attraversarla troppo velocemente.
Una velocità dell'acqua variabile da 1 a 1,5 m/s appare nella maggior parte dei casi adeguata, anche se questi valori possono variare notevolmente in base alle specie per cui il passaggio è stato progettato; inoltre anche il livello dell'acqua all'interno del passaggio dovrebbe essere mantenuto il più costante possibile.
Un grosso inconveniente di questo tipo di conta diretta in tempo reale, consiste nel fatto di dover disporre di personale per 24 ore al giorno che costantemente deve monitorare il passaggio, contando e identificando le specie di pesci che lo attraversano.
Per ovviare a tale inconveniente si è pensato più recentemente di sostituire l'operatore con un sistema di videoregistrazione, in grado di venire attivato automaticamente dal passaggio di un pesce, e dando così la possibilità di visionare in seguito la cassetta per contare ed identificare le specie che hanno transitato attraverso il passaggio.
Una variante a tale metodo consiste nell'installazione di un sistema di videoregistrazione in continuo a bassa velocità, che quindi non viene attivato solamente dal passaggio di un pesce, ma che può registrare continuamente per diverse ore di seguito in una normale videocassetta.

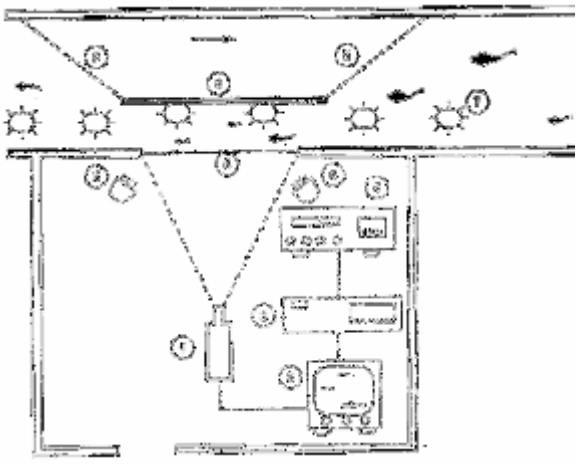


Figura 37: Pianta schematica di un impianto automatico di videoregistrazione. 1- video camera; 2-monitor; 3-analizzatore di immagine; 4-video registratore; 5-lampade alogene; 6-finestra di vetro; 7-lampade ai vapori di mercurio; 8-deflettori forati per il passaggio dell'acqua e dei pesci nella strettoia; 9-pannello posteriore di colore chiaro (fonte Larinier et al., 2000).

<u>Controllo mediante l'uso del computer e videocamera</u>: più innovativa e di più recente introduzione è la sostituzione dell'impianto

di videoregistrazione con un computer, dotato di uno specifico software, in grado di registrare su hard disk la sequenza digitale del passaggio dei pesci, abbinandogli la data del passaggio, l'ora, ed identificandone la specie, e consentendo inoltre successivamente l'elaborazione dei dati acquisiti (figure 38 e 39).

Figura 38: Schermata del software di analisi dell'immagine durante la fase di registrazione (fonte Larinier et al., 2000)

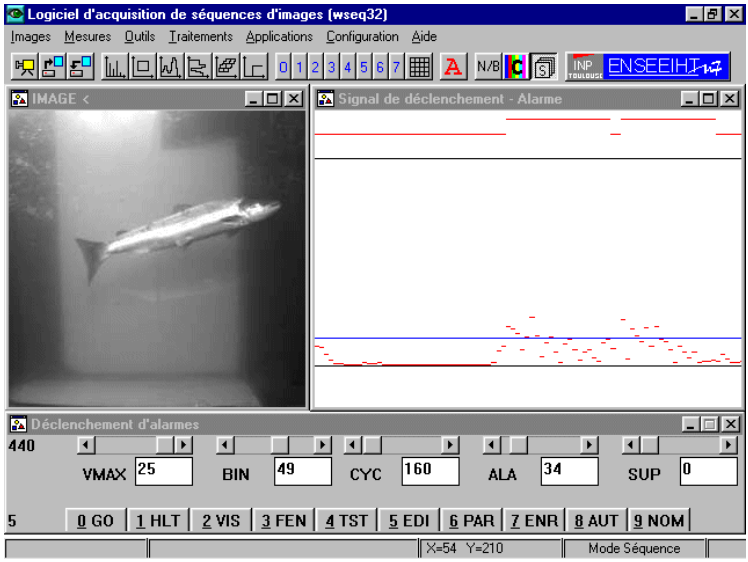
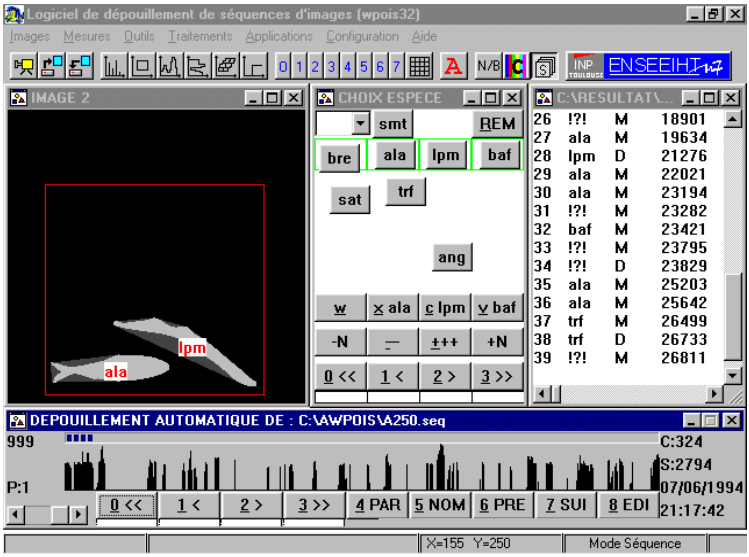
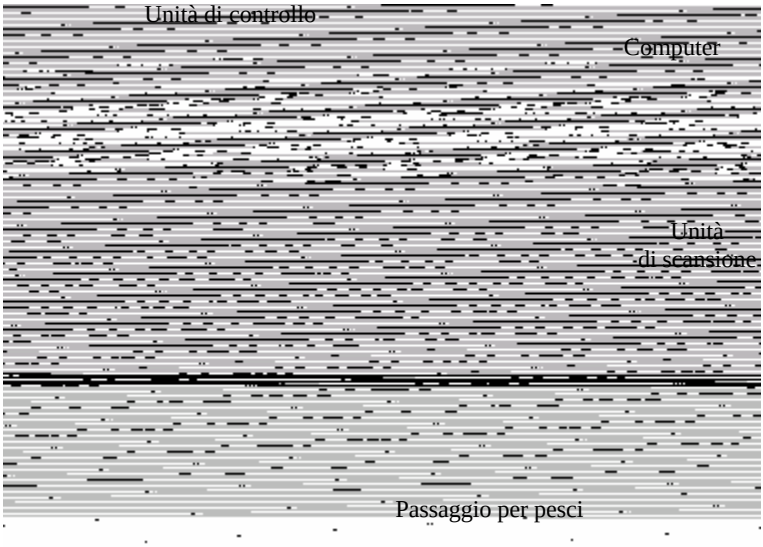


Figura 39: Schermata del software durante la revisione e rielaborazione delle immagini registrate (fonte Larinier et al., 2000)



L’affidabilità dell’identificazione della specie del pesce risulta essere in funzione a diversi fattori ambientali, come l’illuminazione, la torbidità dell’acqua (che deve essere di almeno 70 cm misurandola con il disco di Secchi), nonché da fattori specifici del pesce preso in considerazione, come la specie, la taglia e la velocità di attraversamento del passaggio di fronte alla videocamera.
L’illuminazione dell’area di osservazione risulta particolarmente importante per il corretto funzionamento del sistema, senza la quale risulterebbe difficile l’identificazione delle specie; in particolare per una corretta illuminazione andrebbero utilizzate lampade agli alogenuri o meglio ancora lampade ai vapori di mercurio.
In buone condizioni di visibilità si può affermare che l’accuratezza dell’identificazione delle specie risulta eccellente (90-100%) per quello che riguarda i salmonidi e i ciprinidi di dimensioni superiori a 25 cm di lunghezza, buona (70-90%) riguardo a lamprede, barbi e ciprinidi di taglia compresa tra 10 e 25 cm di lunghezza, e discreta riguardo ad anguille e pesci con dimensioni inferiori ai 10 cm di lunghezza.
Controllo mediante l’uso del computer e sensori agli infrarossi: questo sistema è costituito essenzialmente di due parti; la prima consiste in un sensore che rileva i contorni dei pesci e che è costituito a sua volta da due unità di scansione e da una unità di controllo; ogni unità di scansione è composta da due sensori lineari, ognuno dei quali composto da circa cento diodi agli infrarossi; quando un pesce attraversa l’unità di scansione interrompe il fascio di raggi infrarossi ed i suoi contorni vengono rilevati. Successivamente i dati acquisiti vengono inviati alla seconda parte del sistema che consiste in un computer in cui un apposito software è in grado di elaborare i dati ricevuti contando e classificando così ogni pesce che attraversa il passaggio (figura 40).
Rispetto al precedente metodo questo sistema ha il grosso vantaggio di poter funzionare anche in acque torbide e con poca o nulla visibilità, inoltre richiede una installazione più semplice nel passaggio per pesci, il computer può infatti anche essere posizionato in altra sede, e i dati acquisiti possono essere inviati ad esso ad intervalli regolari per essere elaborati mediante collegamento satellitare o grazie ad un telefono cellulare.

Figura 40: Schema di un impianto di controllo basato sull'utilizzo dei raggi infrarossi (fonte Cadieux et al., 2000)



Conteggio mediante dispositivi a resistenza o ottici: Richiede la predisposizione delle strutture ad accogliere tali dispositivi. Chiaramente con questo metodo non si riesce a discriminare fra taglie e specie, a meno di non ricorrere a tecniche estremamente sofisticate e costose. La torbidità dell'acqua e l'eccessiva turbolenza possono inoltre limitare l'impiego di tali tecniche.
Il contatore è generalmente associato ad un registratore, che permette di datare il passaggio di ogni individuo.
Nel caso di contatori a resistenza, deve essere assicurata una velocità di corrente piuttosto elevata (almeno 1 m/s), in grado di evitare lo stazionamento dei pesci fra gli elettrodi.

MARCATURA E RICATTURA DI INDIVIDUI

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

- un campione di pesci viene catturato a valle del passaggio artificiale, marcato e nuovamente liberato nello stesso sito;
- successivamente si eseguono dei campionamenti a valle e a monte del passaggio per verificare la proporzione di individui

marcati campionati che sono passati rispetto a quelli rimasti a valle.

In questo modo è possibile stimare l'efficacia reale di funzionamento del passaggio artificiale.

METODI COMPORTAMENTALI

Si tratta di metodi che permettono di seguire direttamente gli spostamenti e il comportamento degli individui nei pressi di un passaggio artificiale.

A questo scopo si possono utilizzare tecniche di telemetria o di radiotracking; generalmente il radiotracking viene impiegato per lo studio di pesci in ambiente fluviale, dove la conducibilità dell'acqua è limitata (inferiore a 400 ?S/cm), mentre si impiega la telemetria per studi in ambiente di estuario o marino.

Questo tipo di tecniche prevede la cattura di pesci a valle del passaggio, l'inserimento nel corpo dei pesci di un trasponder (di dimensioni variabili tra 2 e 25 g in funzione della taglia del pesce), e la successiva liberazione degli individui sempre a valle. Ci sono comunque limiti legati alle dimensioni minime dei soggetti cui può essere applicato il transponder, che restringe l'impiego a specie e stadi vitali piuttosto grandi.

L'osservazione dei movimenti dei pesci marcati può essere effettuata manualmente o in modo automatico.

Queste tecniche rappresentano un miglioramento tecnologico della più tradizionale tecnica della marcatura e ricattura; l'implementazione è però piuttosto costosa sia in termini di materiale sia in termini di mano d'opera.

LA SOLUZIONE PROPOSTA A PORTO DELLA TORRE

Tra i sistemi di monitoraggio sopra descritti si propende per la tecnica di monitoraggio che prevede il controllo mediante l'uso del computer e della videocamera. Alla scelta di tale metodo di conteggio ed identificazione di specie si è giunti dopo aver considerato e valutato diversi aspetti.

In primo luogo sono stati esclusi quei metodi che possono causare stress agli animali, come la cattura, il maneggiamento e la marcatura dei pesci da parte degli operatori.

Inoltre dato che il corso d'acqua sul quale si è intenzionati a realizzare il passaggio per pesci è di importanza rilevante, sono stati presi in

considerazione solo quei metodi che consentono oltre che il conteggio degli animali in transito anche l'identificazione della specie di appartenenza, escludendo però quei metodi di monitoraggio che richiedono un eccessivo impiego di personale.
Le scelte possibili potevano quindi essere orientate verso due tipologie possibili: il controllo mediante l'utilizzo del computer e videocamera o il controllo mediante l'uso del computer e sensori agli infrarossi. Entrambi questi metodi permettono sia la conta dei pesci che utilizzano il passaggio che l'identificazione delle specie a cui appartengono, inoltre in entrambi i casi l'impiego del personale risulta limitato al controllo delle strumentazione tecnica necessaria e all'acquisizione ed elaborazione dei dati a cadenze regolari da parte dell'ente interessato.
Tra queste due tecniche di monitoraggio si è deciso di scartare il controllo mediante l'uso del computer e sensori agli infrarossi a favore del controllo mediante l'uso del computer e videocamera, a questa decisione si è giunti anche in considerazione del fatto che la qualità dell'acqua del Fiume Ticino ha una bassa torbidità durante tutto l'arco dell'anno, unico fattore questo che sarebbe stato limitante per l'impiego del metodo scelto.
Bisogna considerare anche che, sempre per l'importanza del corso d'acqua su cui si intende realizzare il passaggio per pesci, risulta giustificata la scelta di una tale strumentazione tecnica nonché la costruzione di un apposito locale posto nella parte terminale del passaggio in cui alloggiarla, inoltre tale locale in fase di progetto potrà essere concepito in modo tale da poter svolgere anche una funzione didattica e scientifica, accogliendo quindi anche persone esterne oltre al personale addetto. I costi di una simile installazione possono variare, in modo molto indicativo, da 15.000 Euro a 50.000 Euro (Lariner et al., 2002); cifra che varia in modo significativo in base al tipo di struttura che si prevede di realizzare per accogliere la strumentazione tecnica necessaria alle operazioni di monitoraggio.
Di minore entità risultano essere le spese riguardanti l'acquisto della videocamera e del computer, che ormai hanno raggiunto costi contenuti; anche l'impianto di illuminazione necessario non costituisce una spesa tutto sommato particolarmente elevata.
Un discorso a parte riguarda l'acquisto del software specifico necessario al conteggio, identificazione della specie di appartenenza dei pesci in transito ed elaborazione dei dati, mentre quasi nulle sono le spese riguardo le modifiche da apportare alla struttura della risalita per pesci per poter utilizzare tale metodo di censimento ittico.

STIMA DI MASSIMA DEI COSTI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE

Nel presente paragrafo si illustrano i costi indicativi della realizzazione dei due passaggi per pesci descritti nei capitoli 7 e 8.
La stima dei costo è stata effettuata impiegando dei coefficienti di calcolo estrapolati da uno studio statistico basato su un campione di circa 300 passaggi per pesci (Lariner et al., 2002); tale approccio è compatibile con gli obiettivi che si pone il presente lavoro, ossia fornire dei costi indicativi di massima per la realizzazione dei passaggi per pesci. Ovviamente l'esatta quantificazione dei costi necessari per la realizzazione delle opere previste sarà parte del progetto esecutivo.
Dall'analisi statistica effettuata nello studio sopra citato è emerso che il costo di un passaggio per pesci a bacini successivi è proporzionale al volume d'aria interno dei bacini. in particolare nel prospetto seguente sono riportati i principali risultati emersi dall'analisi statistica.

	Media	25° percentile	50° percentile (mediana)	75° percentile
COSTO [Euro/m^3]	645	380	550	800

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per i due passaggi per pesci precedentemente descritti.

PASSAGGIO DI PORTO DELLA TORRE

Per la stima del costo del passaggio per pesci si è tenuto conto di 3 elementi progettuali distinti, il cui costo dipende da differenti fattori:

1. il passaggio per pesci a bacini successivi
2. il canale di collegamento tra il bacino di monte e il passaggio per pesci
3. il sistema di monitoraggio.

PORTO DELLA TORRE	**Costo in Euro**
Passaggio per pesci (tratto a bacini successivi)	200.000 – 220.000
Sistema di monitoraggio (edificio + apparecchiature)	60.000 – 80.000
Canale di collegamento	330.000 – 350.000
Costo complessivo	**590.000 – 650.000***

*il costo è da considerarsi di larga massima in quanto le opere da realizzarsi sotto la statale ed il piazzale possono comportare degli imprevisti non quantificabili in questa sede.

Ai costi per la realizzazione delle opere vanno aggiunti gli oneri relativi a progettazione e direzione lavori (circa 15 % dell'importo complessivo) oltre all'IVA.
Come si evince, per Porto della Torre, una parte importante del costo di realizzazione dell'opera riguarda il canale di collegamento, lungo circa 150 metri che in parte deve essere realizzato in galleria sotto la strada statale.

PASSAGGIO DI PANPERDUTO

In questo caso, il costo stimato riguarda esclusivamente il passaggio a bacini successivi non essendo necessario alcun canale di collegamento.

PANPERDUTO	Costo in Euro
Passaggio per pesci	**circa 200.000**

Ai costi per la realizzazione delle opere vanno aggiunti gli oneri relativi a progettazione e direzione lavori (circa 15 % dell'importo complessivo) oltre all'IVA.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

[1] **AA.VV.,** 1991, *Nuovo Colombo - Manuale dell'Ingegnere, 82ª edizione* Ulrico Hoepli Editore, Milano.

[2] **Cadieux S., Lalonde F., Michaud F.,** 2000, *Intelligent system for automated fish sorting and counting.*

[3] **Citrini D., Noseda G.**, 1987, *Idraulica*, Seconda Edizione, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

[4] **Clay C.H.**, 1995. *Design of Fishways and other fish facilities*. Second Edition. Lewis Publishers.

[5] **Da Peppo L., Datei C., Salandin P.**, 1995, *Sistemazione dei corsi d'acqu.*

[6] **GRAIA Srl,** 1999, *Ricerca sulla fauna ittica del Fiume Ticino.* Parcp Ticino, Castalia.

[7] **GRAIA Srl**, 2000, *Carta delle vocazioni ittiche della Provincia di Varese* – Ricerca realizzata per l'Amministrazione Provinciale di Varese.

[8] **Larinier M., Travade F.**, 1992. *Les techniques de contrôle des passes à poissons*. Bulletin français de la pêche et de la pisciculture.

[9] **Larinier M., Travade F., Porcher J.P.,** 2002. *Fishways: biological basis, design criteria and monitoring.* Bull. Fr. Pêche Piscic., 364 suppl., 208 p..

[10] **Odeh M. Editor,** 1999, *Innovation in Fish Passage Technology*, American Fisheries Society, USA.

[11] **Parco Ticino,** 1999, *Atlante della biodiversità nel Parco Ticino*. Parco Ticino, Nodo Libri.

[12] **Provincia di Firenze & Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale**, 2001, *Le scale di risalita per la tutela dl patrimonio ittico - Progetto di intervento per i corsi d'acqua della Val di Sieve*.

[13] **Regione Emilia Romagna** & **Regione Veneto**, 1993, *Manuale Tecnico di Ingegneria naturalistica*.

[14] **Regione Emilia Romagna e Provincia di Modena**, 1984. *Progettazione di passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi* – Atti del Seminario Tecnico Regionale di Modena, Modena.

[15] **Regione Piemonte – Assessorato all'Ambiente**, 2001. *Proposta di linee guida per la predisposizione dei dossier di compatibilità ambientale dei prelievi idrici da corsi d'acqua naturali*

[16] **Washington Department of Fish and Wildlife**, 1999, *Fish passage design at road culvert – A design manual for fish passage at road crossings.*

ALLEGATO 1: SBARRAMENTO DI PORTO DELLA TORRE: SCHEDE DI DIMENSIONAMENTO E DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO

SCHEDE CONTENUTE:

a) Parametri generali di progetto (2 pagine)
b) Funzionamento idraulico in condizioni di progetto (2 pagine)
c) Funzionamento idraulico in condizioni di verifica – piena (2 pagine)
d) Funzionamento idraulico in condizioni di verifica – magra 1 (2 pagine)
e) Funzionamento idraulico in condizioni di verifica – magra 2 (2 pagine)

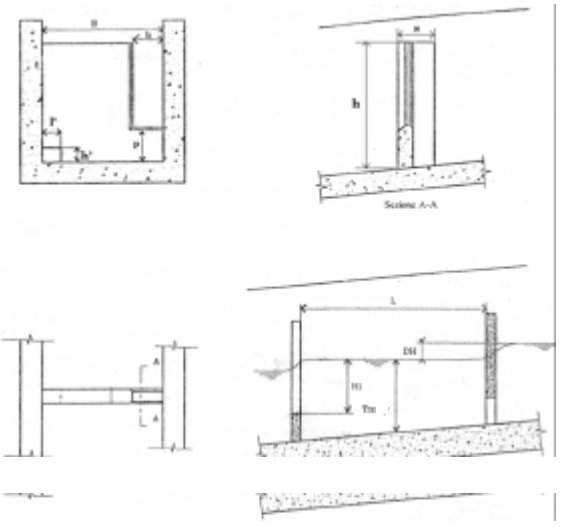
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

Parametri generali di progetto

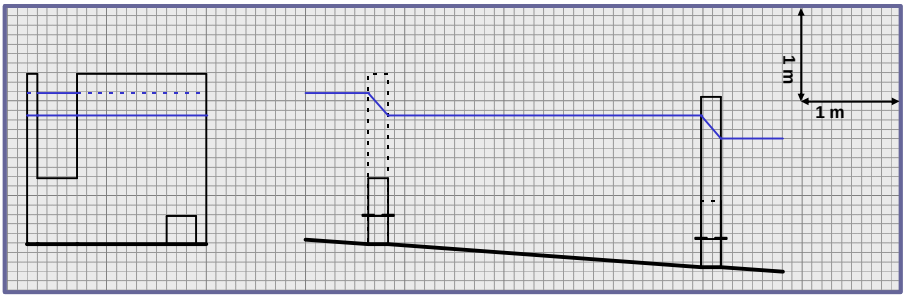
Quota del pelo libero a monte dell'opera	**192,50**	*m s.l.m.*
Quota del pelo libero a valle dell'opera	**186,20**	*m s.l.m.*
Dislivello complessivo	**6,30**	*m*
Numero di salti	**26**	-
Numero di bacini (escluso un eventuale "bacino 0" di monte)	**25**	-
Salto tra due bacini consecutivi **DH**	**0,24**	*m*
Lunghezza complessiva del passaggio	**83,95**	*m*
Pendenza media del passaggio	**7,5%**	-

Parametri dimensionali bacini

Lunghezza del bacino	**L**
Larghezza del bacino	**B**
Spessore del setto	**s**
Altezza massima dl setto	**h**
Distanza fessura laterale fonfo	**p**
Profondità fessura laterale	**h-p**
Larghezza fessura laterale	**b**
Altezza foro di fondo	**h'**
Larghezza foro di fondo	**l'**
Profondità media dell'acqua	**Tm**



Particolare di un bacino



RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

Dimensioni bacini [m]

Progr.	L	B
0	3,15	1,8
1	3,15	1,8
2	3,15	1,8
3	3,15	1,8
4	3,15	1,8
5	3,15	1,8
6	3,15	1,8
7	3,15	1,8
8	3,15	1,8
9	3,15	1,8
10	3,15	1,8
11	3,15	1,8
12	3,15	1,8
13	3,15	1,8
14	3,15	1,8
15	3,15	1,8
16	3,15	1,8
17	3,15	1,8
18	3,15	1,8
19	3,15	1,8
20	3,15	1,8
21	3,15	1,8
22	3,15	1,8
23	3,15	1,8
24	3,15	1,8
25	3,15	1,8

Dimensioni setti separatori [m]

Progr.	s	h	p	h-p	b	h'	l'
Setto 0-1	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 1-2	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 2-3	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 3-4	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 4-5	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 5-6	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 6-7	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 7-8	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 8-9	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 9-10	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 10-11	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 11-12	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 12-13	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 13-14	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 14-15	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 15-16	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 16-17	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 17-18	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 18-19	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 19-20	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 20-21	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 21-22	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 22-23	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 23-24	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 24-25	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 25- fiume-v	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3

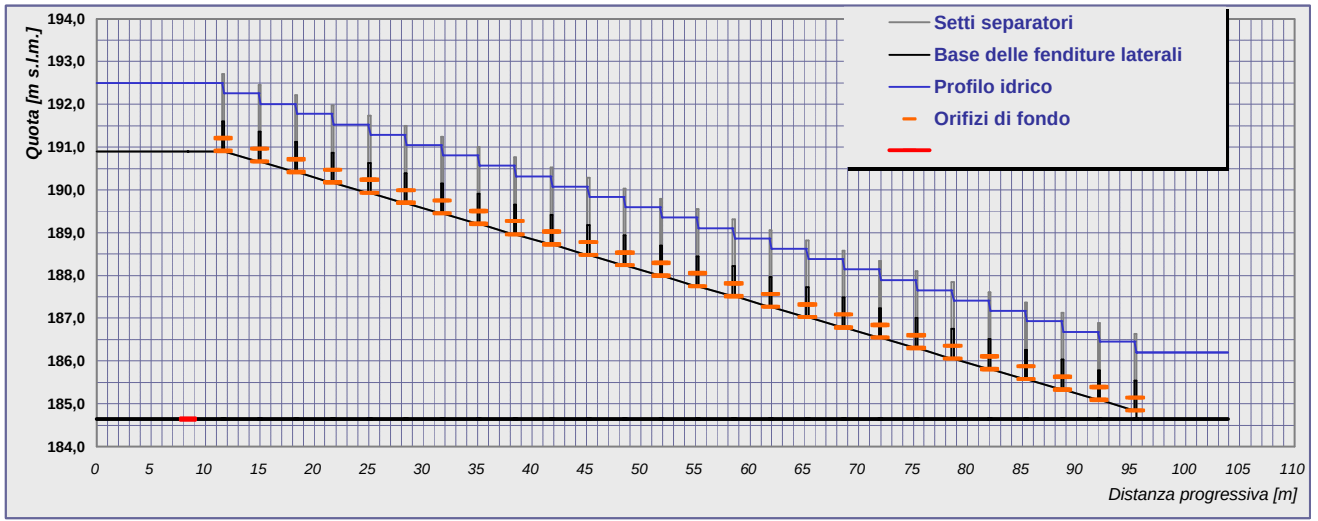
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: PROGETTO

Parametri generali di progetto

	Portata [m^3/s]	Livello idrico [m s.l.m.]		Dislivello complessivo [m]	Pendenza media
		di monte	di valle		
Valore di progetto	0,496	192,50	186,2	6,3	7,5%
Valore di verifica					

Profilo idraulico del passaggio



RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: PROGETTO

Parametri idraulici relativi ai singoli bacini

Progressivo bacino	Dislivello rispetto al bacino successivo [m]	Carico idraulico sulla fessura laterale del setto di valle [m]	Altezza media dell'acqua nel bacino [m] - Tm	Potenza specifica dissipata [W/m^3]
0	0,24	0,90	1,60	0
1	0,24	0,90	1,48	141
2	0,24	0,90	1,48	141
3	0,24	0,90	1,48	141
4	0,24	0,90	1,48	141
5	0,24	0,90	1,48	141
6	0,24	0,90	1,48	141
7	0,24	0,90	1,48	141
8	0,24	0,90	1,48	141
9	0,24	0,90	1,48	141
10	0,24	0,90	1,48	141
11	0,24	0,90	1,48	141
12	0,24	0,90	1,48	141
13	0,24	0,90	1,48	141
14	0,24	0,90	1,48	141
15	0,24	0,90	1,48	141
16	0,24	0,90	1,48	141
17	0,24	0,90	1,48	141
18	0,24	0,90	1,48	141
19	0,24	0,90	1,48	141
20	0,24	0,90	1,48	141
21	0,24	0,90	1,48	141
22	0,24	0,90	1,48	141
23	0,24	0,90	1,48	141
24	0,24	0,90	1,48	141
25	0,24	0,90	1,48	141

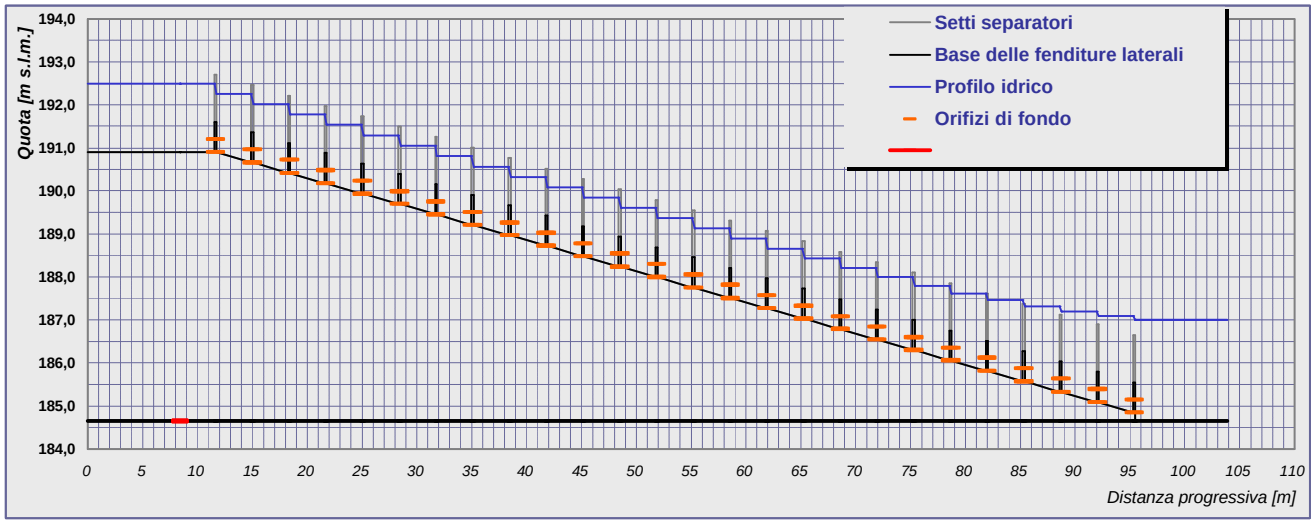
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: VERIFICA PIENA

Parametri generali di progetto

	Portata [m^3/s]	Livello idrico [m s.l.m.]		Dislivello complessivo [m]	Pendenza media
		di monte	di valle		
Valore di progetto	0,496	192,50	186,2	6,3	7,5%
Valore di verifica	0,496	192,50	187	5,5	6,6%

Profilo idraulico del passaggio



RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: VERIFICA PIENA

Parametri idraulici relativi ai singoli bacini

Progressivo bacino	Dislivello rispetto al bacino successivo [m]	Carico idraulico sulla fessura laterale del setto di valle [m]	Altezza media dell'acqua nel bacino [m] - Tm	Potenza specifica dissipata [W/m^3]
0	0,24	0,90	1,60	0
1	0,24	0,90	1,48	141
2	0,24	0,90	1,48	141
3	0,24	0,90	1,48	141
4	0,24	0,90	1,48	141
5	0,24	0,90	1,48	140
6	0,24	0,90	1,48	140
7	0,24	0,90	1,48	140
8	0,24	0,90	1,48	140
9	0,24	0,90	1,48	140
10	0,24	0,90	1,48	139
11	0,24	0,91	1,49	139
12	0,24	0,91	1,49	138
13	0,24	0,91	1,49	137
14	0,23	0,92	1,50	136
15	0,23	0,93	1,51	134
16	0,23	0,94	1,52	131
17	0,22	0,95	1,53	128
18	0,22	0,97	1,55	124
19	0,21	1,00	1,58	118
20	0,17	1,03	1,61	111
21	0,16	1,10	1,68	89
22	0,14	1,19	1,76	76
23	0,12	1,29	1,87	64
24	0,10	1,41	1,99	52
25	0,09	1,55	2,13	42

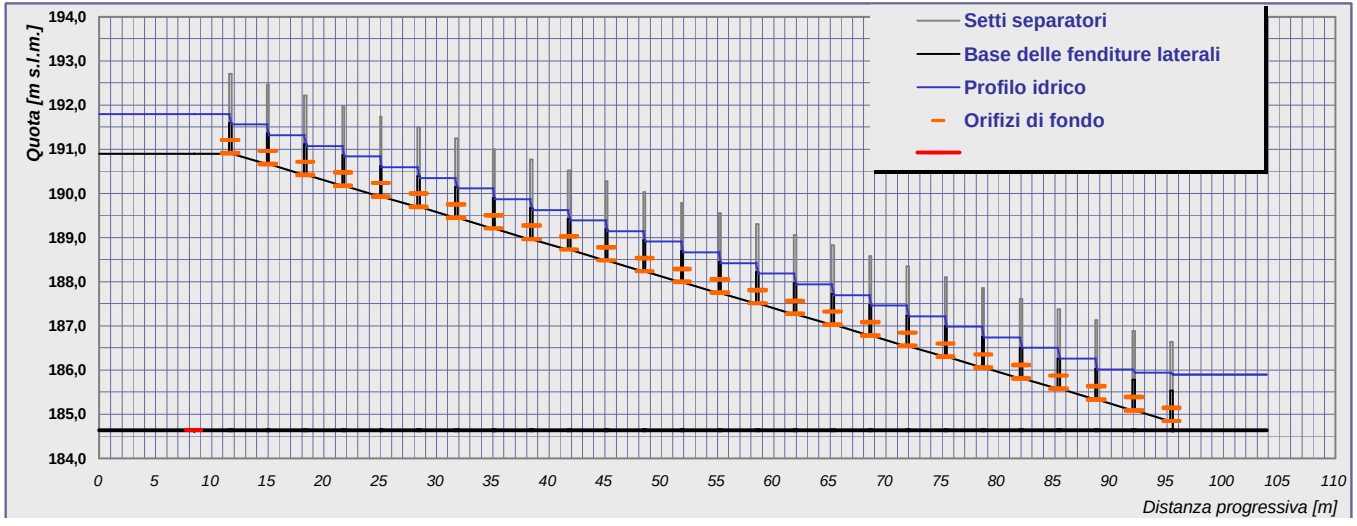
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: VERIFICA MAGRA 1

Parametri generali di progetto

	Portata [m^3/s]	Livello idrico [m s.l.m.]		Dislivello complessivo [m]	Pendenza media
		di monte	di valle		
Valore di progetto	0,496	192,50	186,2	6,3	7,5%
Valore di verifica	0,127	191,80	185,9	5,9	7,0%

Profilo idraulico del passaggio



RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: VERIFICA MAGRA 1

Parametri idraulici relativi ai singoli bacini

Progressivo bacino	Dislivello rispetto al bacino successivo [m]	Carico idraulico sulla fessura laterale del setto di valle [m]	Altezza media dell'acqua nel bacino [m] - Tm	Potenza specifica dissipata [W/m^3]
0	0,24	0,20	0,90	0
1	0,24	0,20	0,78	68
2	0,24	0,20	0,78	68
3	0,24	0,20	0,78	68
4	0,24	0,21	0,78	68
5	0,24	0,21	0,79	67
6	0,24	0,21	0,79	67
7	0,24	0,21	0,79	67
8	0,24	0,21	0,79	67
9	0,24	0,21	0,79	67
10	0,24	0,21	0,79	67
11	0,24	0,00	0,80	67
12	0,24	0,22	0,80	67
13	0,24	0,22	0,80	66
14	0,24	0,22	0,80	66
15	0,24	0,22	0,80	66
16	0,24	0,22	0,80	66
17	0,24	0,23	0,80	66
18	0,24	0,23	0,81	66
19	0,24	0,23	0,81	66
20	0,24	0,23	0,81	66
21	0,24	0,23	0,81	65
22	0,24	0,23	0,81	65
23	0,24	0,23	0,81	65
24	0,08	0,24	0,81	65
25	0,04	0,40	0,98	18

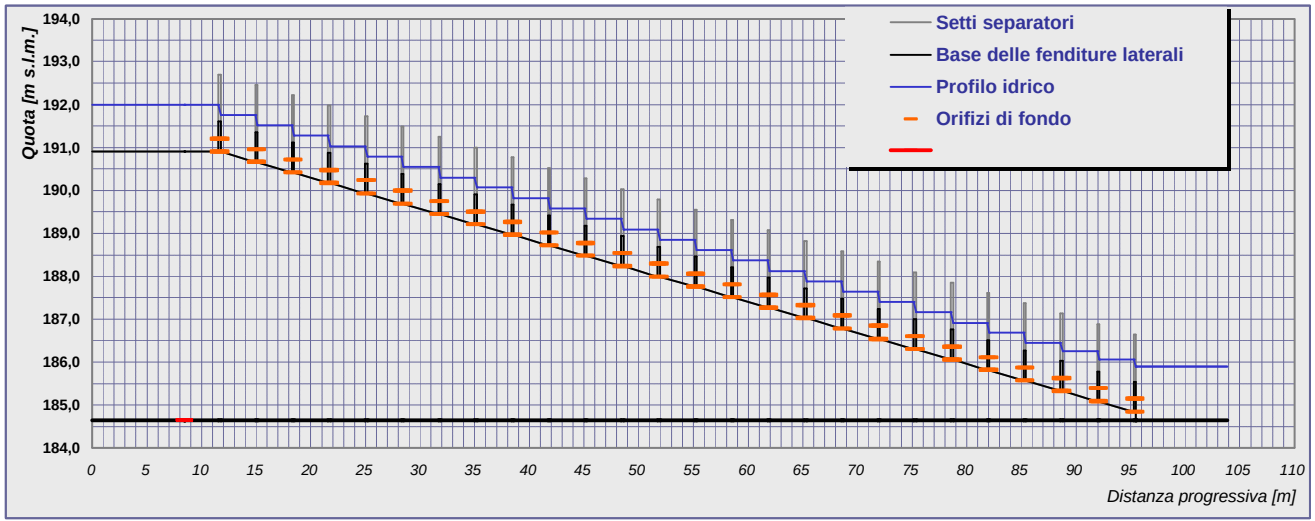
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: VERIFICA MAGRA 2

Parametri generali di progetto

	Portata [m^3/s]	Livello idrico [m s.l.m.]		Dislivello complessivo [m]	Pendenza media
		di monte	di valle		
Valore di progetto	0,496	192,50	186,2	6,3	7,5%
Valore di verifica	0,278	192,00	185,9	6,1	7,3%

Profilo idraulico del passaggio



RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Porto della Torre

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: VERIFICA MAGRA 2

Parametri idraulici relativi ai singoli bacini

Progressivo bacino	Dislivello rispetto al bacino successivo [m]	Carico idraulico sulla fessura laterale del setto di valle [m]	Altezza media dell'acqua nel bacino [m] - Tm	Potenza specifica dissipata [W/m^3]
0	0,24	0,40	1,10	0
1	0,24	0,40	0,98	119
2	0,24	0,40	0,98	119
3	0,24	0,40	0,98	119
4	0,24	0,40	0,98	119
5	0,24	0,40	0,98	119
6	0,24	0,40	0,98	119
7	0,24	0,40	0,98	119
8	0,24	0,40	0,98	119
9	0,24	0,40	0,98	119
10	0,24	0,40	0,98	119
11	0,24	0,00	0,98	119
12	0,24	0,40	0,98	119
13	0,24	0,40	0,98	119
14	0,24	0,40	0,98	119
15	0,24	0,40	0,98	119
16	0,24	0,40	0,98	119
17	0,24	0,40	0,98	118
18	0,24	0,40	0,98	118
19	0,24	0,40	0,98	118
20	0,24	0,41	0,98	117
21	0,24	0,41	0,99	116
22	0,23	0,42	0,99	114
23	0,20	0,43	1,00	111
24	0,19	0,46	1,04	95
25	0,16	0,52	1,10	81

ALLEGATO 2: SBARRAMENTO DI PANPERDUTO: SCHEDE DI DIMENSIONAMENTO E DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO

SCHEDE CONTENUTE:

a) Parametri generali di progetto (2 pagine)
b) Funzionamento idraulico in condizioni di progetto (2 pagine)

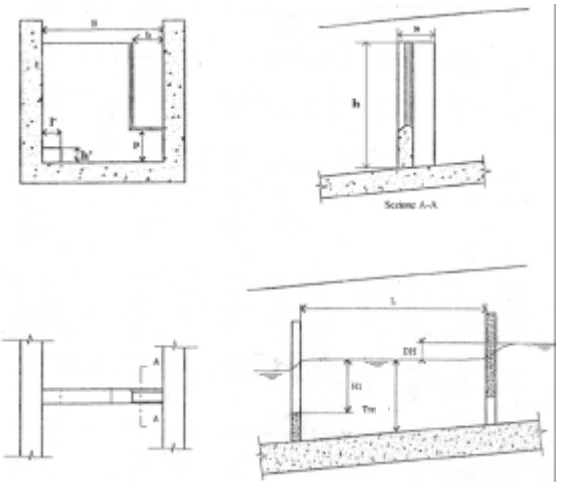
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Panperduto

Parametri generali di progetto

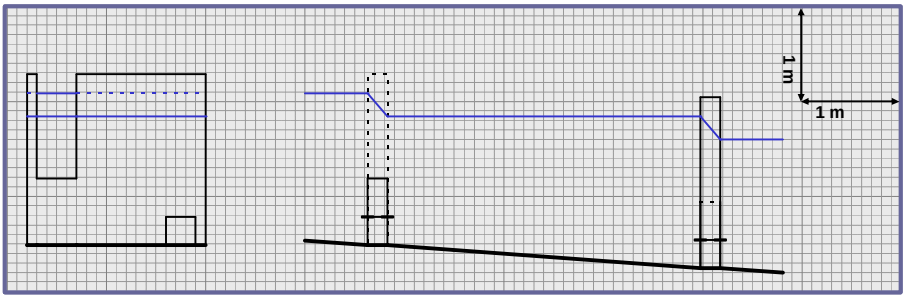
Quota del pelo libero a monte dell'opera	**186,02**	*m s.l.m.*
Quota del pelo libero a valle dell'opera	**181,90**	*m s.l.m.*
Dislivello complessivo	**4,12**	*m*
Numero di salti	**17**	-
Numero di bacini (escluso un eventuale "bacino 0" di monte)	**16**	-
Salto tra due bacini consecutivi **DH**	**0,24**	*m*
Lunghezza complessiva del passaggio	**53,80**	*m*
Pendenza media del passaggio	**7,7%**	-

Parametri dimensionali bacini

Lunghezza del bacino	**L**
Larghezza del bacino	**B**
Spessore del setto	**s**
Altezza massima dl setto	**h**
Distanza fessura laterale fonfo	**p**
Profondità fessura laterale	**h-p**
Larghezza fessura laterale	**b**
Altezza foro di fondo	**h'**
Larghezza foro di fondo	**l'**
Profondità media dell'acqua	**Tm**



Particolare di un bacino



RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Panperduto

Dimensioni bacini [m]

Progr.	L	B
0	3,15	1,8
1	3,15	1,8
2	3,15	1,8
3	3,15	1,8
4	3,15	1,8
5	3,15	1,8
6	3,15	1,8
7	3,15	1,8
8	3,15	1,8
9	3,15	1,8
10	3,15	1,8
11	3,15	1,8
12	3,15	1,8
13	3,15	1,8
14	3,15	1,8
15	3,15	1,8
16	3,15	1,8

Dimensioni setti separatori [m]

Progr.	s	h	p	h-p	b	h'	l'
Setto 0-1	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 1-2	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 2-3	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 3-4	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 4-5	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 5-6	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 6-7	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 7-8	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 8-9	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 9-10	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 10-11	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 11-12	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 12-13	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 13-14	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 14-15	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 15-16	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3
Setto 16- fiume-v	0,2	1,8	0,7	1,1	0,4	0,3	0,3

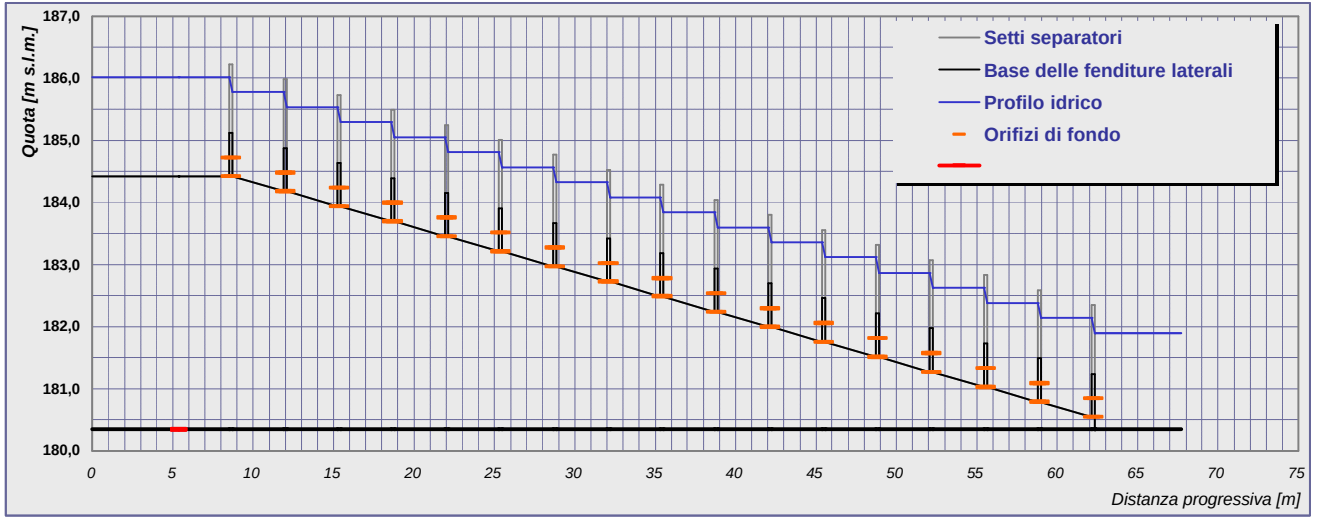
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Panperduto

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: PROGETTO

Parametri generali di progetto

	Portata [m^3/s]	Livello idrico [m s.l.m.]		Dislivello complessivo [m]	Pendenza media
		di monte	di valle		
Valore di progetto	0,497	186,02	181,9	4,12	7,7%
Valore di verifica					

Profilo idraulico del passaggio



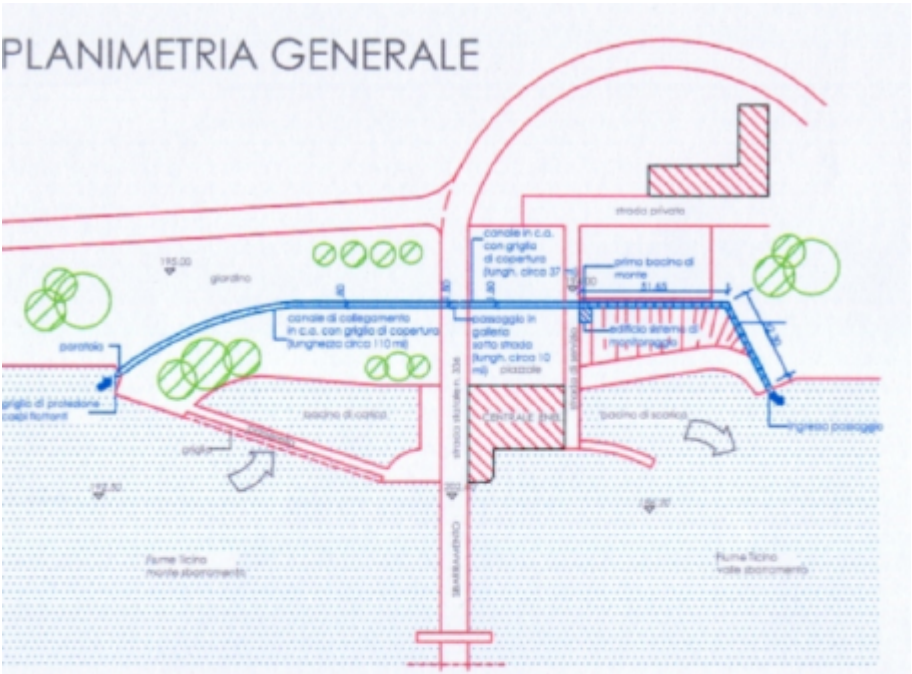
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: Panperduto

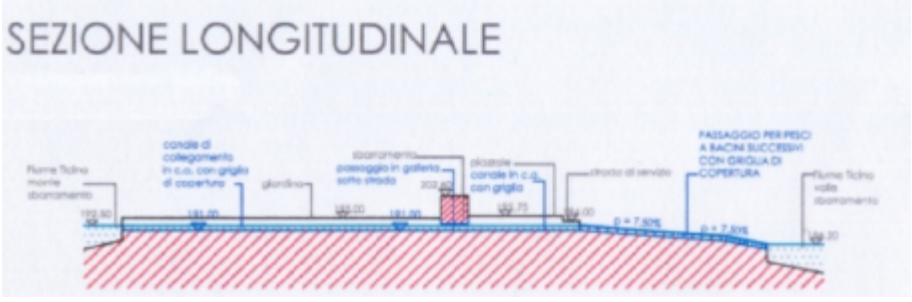
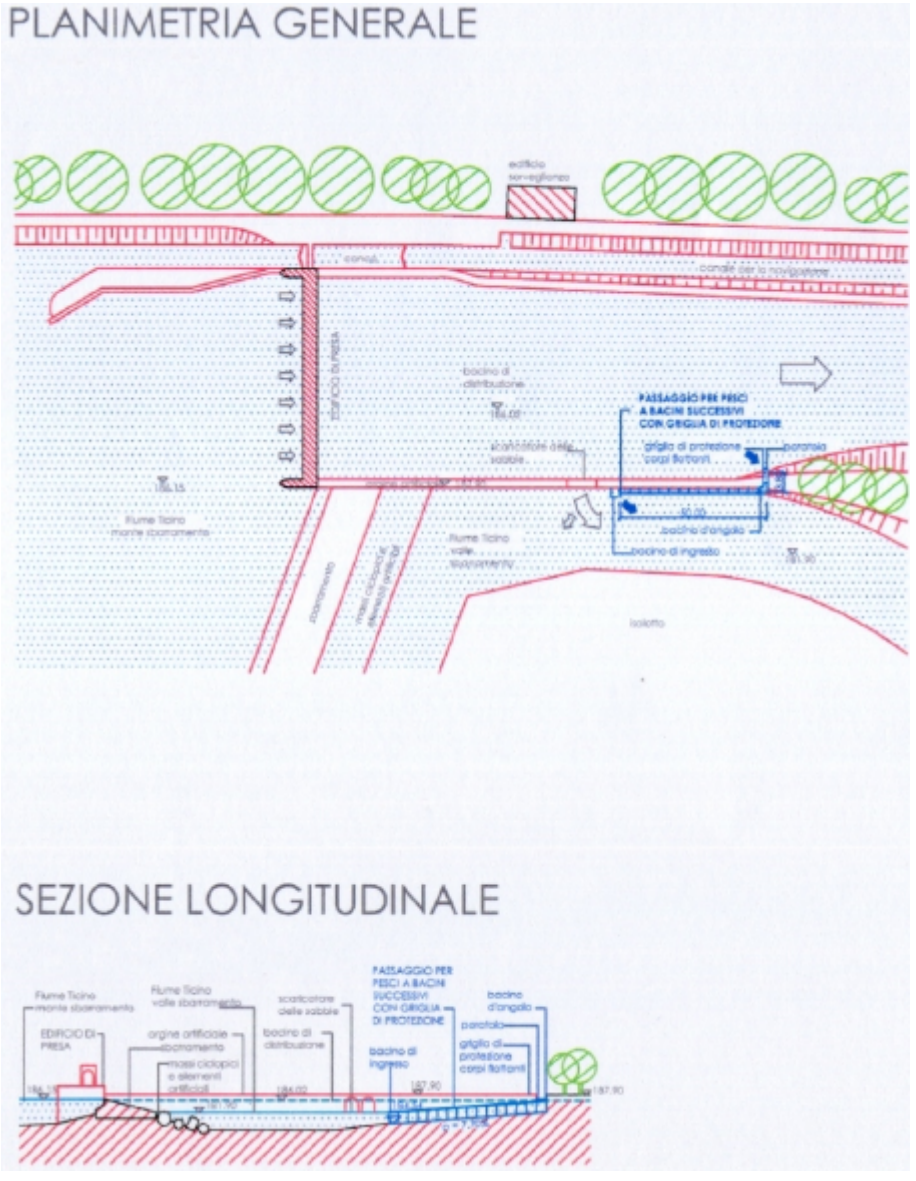
CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: PROGETTO

Parametri idraulici relativi ai singoli bacini

Progressivo bacino	Dislivello rispetto al bacino successivo [m]	Carico idraulico sulla fessura laterale del setto di valle [m]	Altezza media dell'acqua nel bacino [m] - Tm	Potenza specifica dissipata [W/m^3]
0	0,24	0,90	1,60	0
1	0,24	0,90	1,48	141
2	0,24	0,90	1,48	141
3	0,24	0,90	1,48	141
4	0,24	0,90	1,48	141
5	0,24	0,90	1,48	141
6	0,24	0,90	1,48	141
7	0,24	0,90	1,48	141
8	0,24	0,90	1,48	141
9	0,24	0,90	1,48	141
10	0,24	0,90	1,48	141
11	0,24	0,90	1,48	141
12	0,24	0,90	1,48	141
13	0,24	0,90	1,48	141
14	0,24	0,90	1,48	141
15	0,24	0,90	1,48	141
16	0,24	0,90	1,48	141

ALLEGATO 3: SBARRAMENTO DI PORTO DELLA TORRE: TAVOLE DI PROGETTO





ALLEGATO 4: SBARRAMENTO DI PANPERDUTO: TAVOLE DI PROGETTO