



Bando CARIPLLO "Tutelare e valorizzare la biodiversità"

Titolo del progetto:

Conservazione della biodiversità del Parco Adda Nord

Indagine e contenimento delle popolazioni ittiche appartenenti a specie alloctone, nel tratto di Fiume Adda ricompreso nel Parco Adda Nord

Azione A.5 "Monitoraggio della fauna ittica presso il passaggio per pesci a Fara Gera d'Adda"

Azione I.2 "Analisi idraulica di dettaglio del passaggio per pesci presso la Diga di S. Anna a Fara Gera d'Adda"

Azione I.3 "Progettazione di un sistema mobile di monitoraggio subacqueo presso il passaggio per pesci localizzato alla Diga di S. Anna a Fara Gera d'Adda"



G.R.A.I.A.

Gestione e Ricerca Ambientale Ittica Acque

Dott. Cesare Mario Puzzi

Dott. Ing. Beniamino Barengi

Dott. Daniele Tamborini



Sommario

1. Premessa	3
2. Contenuti	4
3. Il sito di interesse e la sua comunità ittica	5
3.1 Tratto B.....	6
3.2 Tratto C	10
4. Risultati.....	16
4.1 Verifica visiva.....	16
4.2 Rilievo geometrico e altimetrico.....	16
4.3 Rilievo idraulico	18
4.4 Censimento ittico.....	20
4.5 Elaborazioni ex post.....	22
4.5.1 Verifica visiva.....	22
4.5.2 Verifica parametri / geometrici (L/b, B/b,...)	22
4.5.3 Verifica parametri idraulici	23
5. Considerazioni conclusive	29
6. Progettazione di un sistema di monitoraggio subacqueo.....	30
6.1 I sistemi di monitoraggio per la risalita della fauna ittica	30
6.2 La soluzione proposta per la Diga di S. Anna	31
6.2.1 Posizionamento delle attrezzature	31
6.2.2 Conversione del sistema provvisorio in sistema permanente.....	35
6.2.3 Le modalità di raccolta dei dati del videomonitoraggio	35

1. Premessa

L'obiettivo dell'azione A.5 consiste nella verifica del ruolo del passaggio artificiale per pesci localizzato presso la Diga di S. Anna a Fara Gera d'Adda rispetto alla migrazione delle specie ittiche autoctone e alloctone, al fine di valutare l'effettivo utilizzo del passaggio da parte di tutte le specie ittiche e di tutti gli stadi vitali target.

Questo elaborato presenta pertanto i risultati dello studio svolto, che è stato condotto mediante due principali attività:

1. una serie di campionamenti, rilievi e di misurazioni specifiche, finalizzate alla verifica della funzionalità del sistema di risalita; (**Azione A.5 e Azione I.2**);
2. la progettazione di un sistema di monitoraggio subacqueo da installare all'interno del passaggio per pesci (**Azione I.3**).

Il monitoraggio della funzionalità di un passaggio artificiale richiede sia la verifica di una serie di parametri idraulici di riferimento sia indagini dirette sulla fauna ittica. La verifica indiretta si basa sul rilevamento di parametri in grado di confermare che il passaggio artificiale sia conforme ai criteri progettuali: a tal fine, è stata realizzata un'analisi idraulica di dettaglio del passaggio per pesci presso la Diga di S. Anna. Una volta appurata tale conformità, occorre verificare che le caratteristiche strutturali, morfologiche ed idrauliche, siano idonee al passaggio della fauna ittica. Questa verifica necessita preventivamente la conoscenza delle specie ittiche che compiono abituali movimenti all'interno del tratto fluviale d'interesse, informazioni che verranno acquisite a seguito dell'espletamento delle azioni precedenti. Al fine di monitorare l'utilizzo della struttura da parte dell'ittiofauna e verificare in dettaglio la comunità ittica che la frequenta, in termini di specie presenti, dimensioni degli animali, direzione di utilizzo, è stato eseguito un campionamento ittico interno al passaggio per pesci, previo prosciugamento parziale dell'area all'interno del dispositivo.

La comunità ittica del sito di interesse è la principale beneficiaria del passaggio per pesci, pertanto, prima di affrontare i punti elencati in precedenza, è necessario approfondire le conoscenze su di essa: il capitolo iniziale caratterizza brevemente sia l'idromorfologia dei tratti di valle e monte della diga, sia le relative comunità ittiche. Tali definizioni sono affidate ai risultati dell'applicazione dell' IFF nel sito di interesse (circa 7,5 km) e a quelli del censimento ittico effettuato nelle stazioni B1, B2, B3 (Tratto B, a monte di Sant'Anna) e C1, C2 (Tratto C, a valle di Sant'Anna).

In adempimento al punto 2 (ovvero all'azione I.3) si offre infine una soluzione (a livello di fattibilità) relativa all'installazione di un innovativo sistema mobile di monitoraggio subacqueo in corrispondenza del suddetto passaggio artificiale per pesci, composto da un computer dotato di uno specifico *software* che elabora immagini video registrate direttamente in acqua in un punto.

Figura 1. La diga di Sant'Anna.



2. Contenuti

Gli Elaborati prodotti (**Work Package – WP**) a fine indagine e consegnati al Parco sono i seguenti:

WP2: FUNZIONALITÀ DEL PASSAGGIO PER PESCI PRESSO LA DIGA DI SANT'ANNA

- 1) **Relazione sul Monitoraggio dell'ittiofauna presso la scala di risalita localizzata alla Diga di S. Anna a Fara Gera d'Adda.** Questo capitolo presenterà, elaborerà e commenterà i risultati delle attività di monitoraggio ittico presso il passaggio per pesci di recente realizzazione localizzato in corrispondenza della Diga di S. Anna, finalizzato a verificare l'uso del dispositivo da parte dell'ittiofauna, individuando i pesci che lo utilizzano, in termini di specie, di taglia e direzione di utilizzo. Per approfondire l'argomento, è stata proposta un'**ATTIVITÀ INTEGRATIVA**, consistente nell'**analisi idraulica di dettaglio** di quei parametri progettuali e di contorno necessari a garantire la funzionalità del passaggio per pesci.
- 2) **Progettazione di un sistema mobile di monitoraggio subacqueo in continuo presso il passaggio per pesci localizzato alla Diga di S. Anna a Fara Gera d'Adda. ATTIVITÀ INTEGRATIVA**
- 3) **Tavole di progetto** (in formato cartaceo e digitale [TIFF, JPEG o PDF]).
- 4) **Selezione di immagini** (in formato digitale [JPEG]).

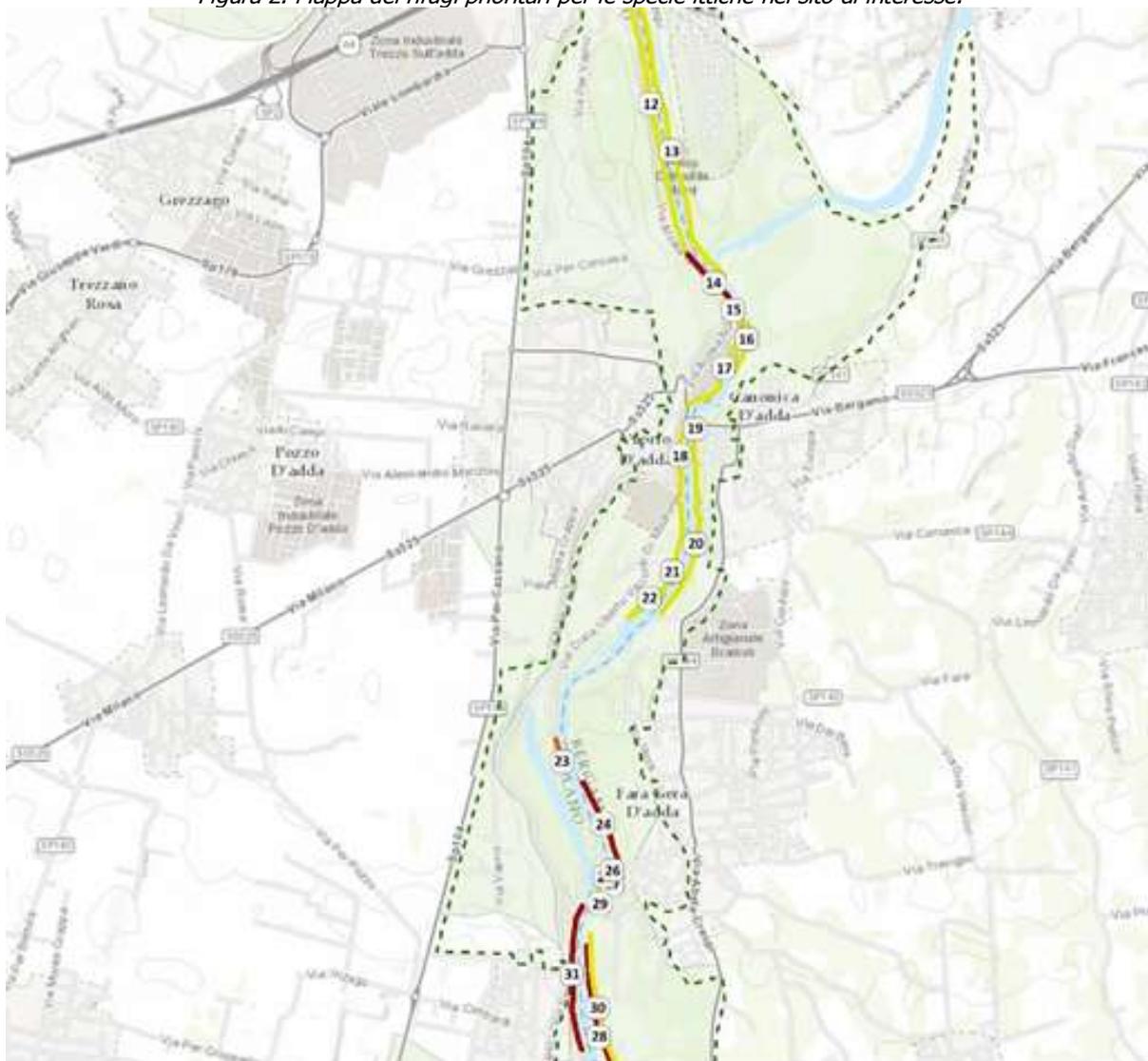
3. Il sito di interesse e la sua comunità ittica

In occasione dell'attività di censimento dell'ittiofauna è stato possibile definire la composizione della comunità ittica nei pressi della diga di Sant'Anna; i due tratti di riferimento a tale proposito sono:

- il tratto di monte della diga (parte del Tratto B), che si estende (per circa 4,5 km) dalla diga di Concesa alla diga di Sant'Anna (Stazioni B1, B2, B3);
- il tratto di valle della diga (Tratto C), che si estende (per circa 3 km) dalla diga di Sant'Anna alla diga della Centrale Rusca (Stazioni C1, C2).

I due tratti in oggetto vengono in seguito caratterizzati dal punto di vista idromorfologico e faunistico.

Figura 2. Mappa dei rifugi prioritari per le specie ittiche nel sito di interesse.



3.1 Tratto B

Il tratto si estende dallo sbarramento della Centrale Tacconi alla Diga di Sant'Anna ed è caratterizzato da una buona funzionalità fluviale (garantita da discrete condizioni vegetazionali delle rive e del territorio circostante al corso d'acqua); morfologia dell'alveo fortemente influenzata dalla presenza delle opere di sbarramento e di regimazione idraulica; buona presenza di massi che fungono da elementi di ritenzione degli apporti trofici e di rifugio per i pesci; dominanza del *riffle* come elemento idro-morfologico; buona idoneità ittica determinata dalla disponibilità trofica e di rifugi. Si rileva la presenza di una *pool* profonda circa 150 m a valle dello sbarramento di Concesa che, offre una possibilità di rifugio alla fauna ittica, in particolare ai pesci di grandi dimensioni. Il tratto si caratterizza per l'ingresso in Adda del Fiume Brembo e per la percorribilità in risalita ripristinata tanto presso lo sbarramento Italgen a Concesa (funzionante dal 2005) quanto per lo sbarramento di Sant'Anna a Fara Gera d'Adda (ultimato nel 2011).

Figura 3. Vista del tratto a valle del ponte di Vaprio (sinistra) e del tratto a monte della diga di Sant'Anna (destra).

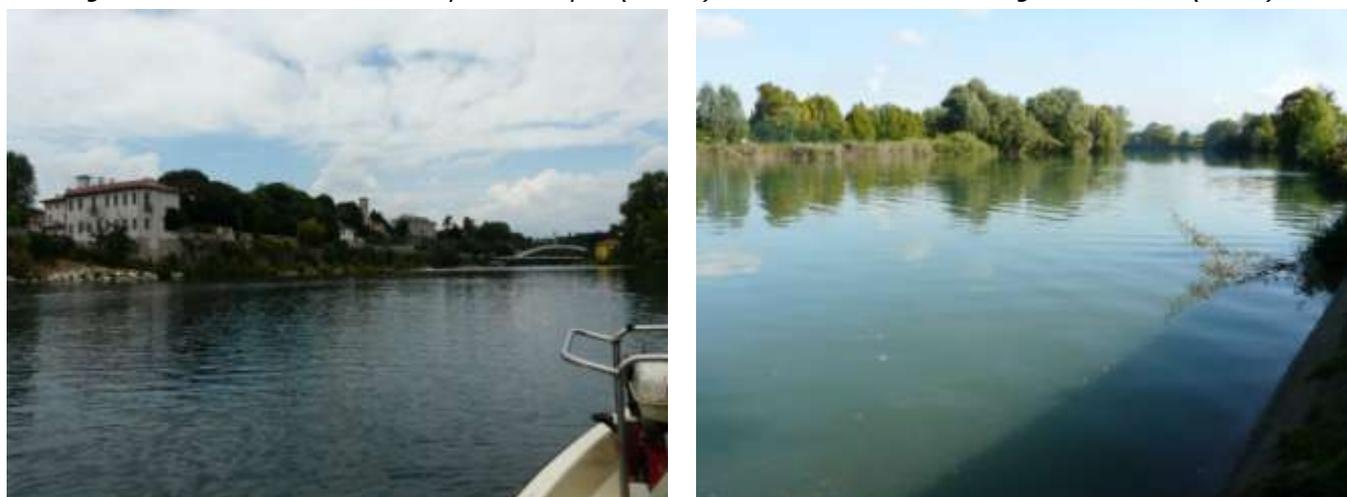


Tabella 1. Elenco e caratterizzazione dei rifugi nel Tratto B; la numerazione fa riferimento alla cartina in Figura 1.

Id	STAZIONE	TIPOLOGIA DI RIFUGIO	DESCRIZIONE	SPECIE OSSERVATE	PRESENZA DEL SILURO
					(SULLA SCORTA DELLE OSSERVAZIONI O DELL'UTILIZZO POTENZIALE)
12	B1	CEPPAIE	ELEMENTI DISTANZIATI E DI MODESTE DIMENSIONI	CIPRINIDI DI PICCOLA TAGLIA	GIOVANI
13	B1	CEPPAIE	ELEMENTI DISTANZIATI E DI MODESTE DIMENSIONI	CIPRINIDI DI PICCOLA TAGLIA	GIOVANI
14	B2	PRISMATA	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, NON INTASATI E BEN SOMMERSI	SILURO DI TUTTE LE TAGLIE, CIPRINIDI PICC. TAGLIA	TUTTE LE TAGLIE
15	B2	PRISMATA	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, NON INTASATI E BEN SOMMERSI	SILURO DI TUTTE LE TAGLIE, CIPRINIDI PICC. TAGLIA	TUTTE LE TAGLIE
16	B2	PRISMATA	ELEMENTI DI PICCOLE DIMENSIONI, SPAZI INTERSTIZIALI SCARSI	CIPRINIDI DI PICCOLA TAGLIA, GHIOZZO, SCAZZONE	GIOVANI
17	B2	CEPPAIE	ELEMENTI DISTANZIATI E DI MODESTE DIMENSIONI	CIPRINIDI DI PICCOLA TAGLIA	GIOVANI
18	B3	PRISMATA	ELEMENTI DI DISCRETE	CIPRINIDI DI PICCOLA	GIOVANI

Id	STAZIONE	TIPOLOGIA DI RIFUGIO	DESCRIZIONE	SPECIE OSSERVATE	PRESENZA DEL SILURO (SULLA SCORTA DELLE OSSERVAZIONI O DELL'UTILIZZO POTENZIALE)
19	B3	PRISMATA	DIMENSIONI MA SPAZI INTERSTIZIALI INTASATI ELEMENTI DI PICCOLE DIMENSIONI E SPAZI INTERSTIZIALI INTASATI	TAGLIA, SILURI PICCOLI POCHI PESCI DI PICCOLA TAGLIA	GIOVANI
20	B3	CEPPAIE	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, BEN SOMMERSI	POCO FREQUENTATE: PICCOLI PESCI	GIOVANI
21	B3	CEPPAIE	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, BEN SOMMERSI	POCO FREQUENTATE: PICCOLI PESCI	GIOVANI
22	B3	LANCA	DI BASSA PROFONDITA' CON POCCHI RIFUGI	CIPRINIDI	GIOVANI

La stazione B1 è stata individuata lungo il tratto di Fiume Adda subito a monte dell'ingresso del Fiume Brembo. Il tratto è caratterizzato da una notevole velocità di corrente e turbolenza nella zona più a monte, dove il livello del fiume risulta basso con fondo a ciottoli. Nei pressi della confluenza con il Brembo, per effetto dell'ingresso di quest'ultimo, si ha un certo rallentamento della velocità con un aumento del livello dell'acqua. I rifugi presenti sono rappresentati principalmente dalla prismata in sponda destra a monte e in corrispondenza della confluenza (Figura 2, punti 12,13): il censimento ittico ha portato al campionamento delle specie esposte nella seguente tabella.

Figura 4. La stazione B1: confluenza del Brembo, vista verso monte (sinistra) e verso valle (destra).

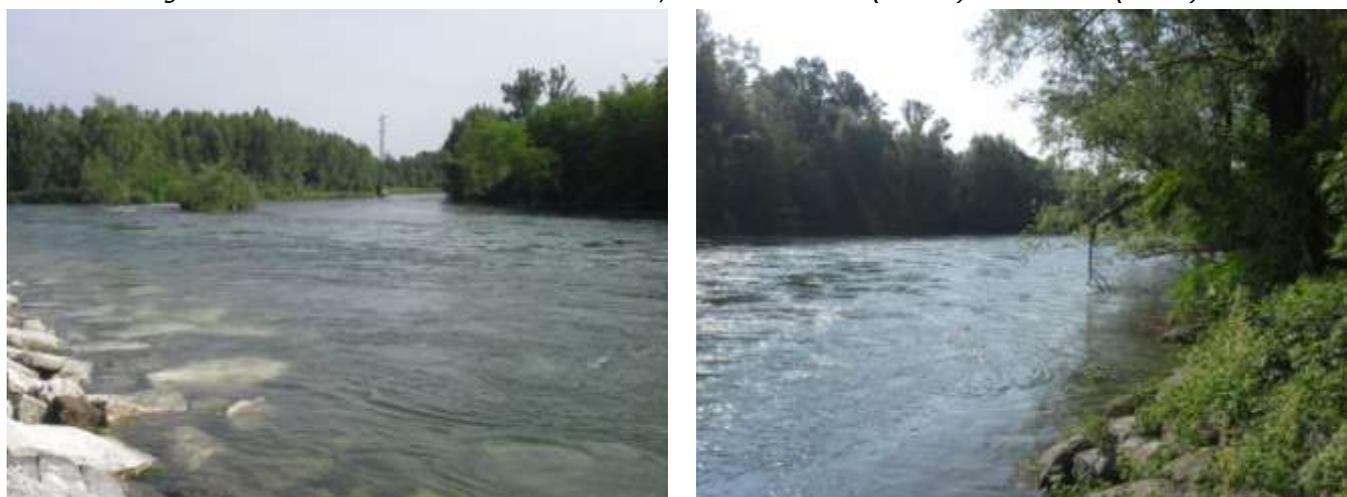


Tabella 2. Risultato del campionamento mediante elettropesca condotto nella stazione B1 in occasione del censimento ittico.

Stazione B1			
origine	Specie	Peso (kg) totale	N. individui totale
NATIVI	Vairone	0,938	75
	Cavedano	0,405	50
	Gobione	0,107	10
	Pigo	0,051	12
	Triotto	0,032	2
	Ghiozzo padano	0,008	2
	Scardola	0,004	1
	Cagnetta	0,003	2
NATIVI Totale		1,548	154
NATIVI / ALLOCTONI	Barbo	0,634	53

Stazione B1			
origine	Specie	Peso (kg) totale	N. individui totale
NATIVI / ALLOCTONI Totale		0,634	53
ALLOCTONI	Siluro	62,100	23
ALLOCTONI Totale		62,100	23
Totale complessivo		64,282	230

La stazione B2 coincide col tratto fluviale compreso tra l'immissione del Brembo in Adda e il ponte di Vaprio d'Adda. Qui la tipologia morfologica prevalente è quella del *run*; lungo le sponde sono frequenti accumuli di sedimenti sabbiosi e ghiaiosi. Il fondo è costituito da ghiaia fine e ciottoli. Il tratto è influenzato fortemente dagli apporti del Fiume Brembo; i rifugi sono rappresentati principalmente dalla massicciata in sponda sinistra (Figura 2, punti 14,15,16) e da ceppaie poco ospitali poste in sponda destra (Figura 2, punto 17; in corrispondenza della buca a monte del ponte di Vaprio). Il censimento ittico ha portato al campionamento delle specie esposte nella seguente tabella.

Figura 5. Fasi del censimento effettuato nella stazione B2: elettropesca dalla barca (sinistra), misurazione dei pesci campionati (destra).



Tabella 3. Risultato del campionamento mediante elettropesca condotto nella stazione B2 in occasione del censimento ittico.

Stazione B2				
origine	Specie	Peso (kg) totale	N. individui totale	
NATIVI	Cavedano	3,991	192	
	Vairone	0,926	100	
	Anguilla	0,125	1	
	Gobione	0,085	15	
	Ghiozzo padano	0,020	8	
	Scazzone	0,013	5	
	Pigo	0,008	1	
	Persico reale	0,005	1	
	Sanguinerola	0,002	2	
	Tinca	0,002	2	
	Cobite comune	0,002	2	
	NATIVI Totale		5,178	329
	NATIVI / ALLOCTONI	barbo	0,278	21
NATIVI / ALLOCTONI Totale		0,278	21	
ALLOCTONI	Siluro	75,711	23	
ALLOCTONI Totale		75,711	23	
Totale complessivo		81,168	373	

La stazione B3 si estende dal ponte di Vaprio d'Adda alla diga di S. Anna. Il tratto ha velocità di corrente ridotta e moto laminare per effetto della diga; presenta una maggiore profondità nei pressi della diga con fondale a

sedimento fine. A valle del ponte sono presenti due massicciate su ciascuna delle sponde: quella in sponda sinistra offre scarsi rifugi (Figura 2, punto 19), mentre quella in destra (Figura 2, punto 18) è caratterizzata da massi di dimensioni maggiori, e ben popolata da specie ittiche (soprattutto esemplari di piccola taglia). Le caratteristiche di questa massicciata rimangono ottimali per circa 300 m; più a valle essa cambia di conformazione non garantendo rifugio all'ittiofauna. Lungo la sponda sinistra corre un canale parallelo che termina a circa metà della stazione che parte nei pressi del ponte ed è limitato nella prima parte dalla massicciata in sponda sinistra. Le sponde presentano scarsissimi rifugi (per lo più costituiti da ceppaie rade di medie dimensioni). Il tratto rettilineo che prosegue fino alla diga di Sant'Anna è caratterizzato da una sostanziale assenza di rifugi; la sponda sinistra ha forte incisione verticale, mentre la destra, più degradante presenta solo rade ceppaie poco significative dal punto di vista del riparo offerto alle specie ittiche (Figura 2. punti 20, 21). Poco a monte della diga di Sant'Anna (in sponda destra) è presente una lanca (Figura 2, punto 22) che potrebbe rappresentare un habitat ideale per le specie limnofile, se solo non avesse profondità così scarsa. Il censimento ittico ha portato al campionamento delle specie esposte nella seguente tabella.

Figura 6. La buona idoneità ittica della prismata al punto 18 (sinistra) e la scarsa idoneità ittica della prismata al punto 19.



Tabella 4. Risultato del campionamento mediante elettropesca condotto nella stazione B3 in occasione del censimento ittico.

Stazione B3		Peso (kg) totale	N. individui totale
origine	Specie		
NATIVI	Tinca	1,166	6
	Cavedano	1,135	145
	Scardola	0,936	36
	Triotto	0,599	105
	Luccio cisalpino	0,556	2
	Gobione	0,264	58
	Vairone	0,067	10
	Ghiozzo padano	0,058	28
	Persico reale	0,055	5
	Pigo	0,014	2
	Cobite comune	0,002	1
	Alborella	0,001	3
	Sanguinerola	0,001	1
	NATIVI Totale		4,854
NATIVI / ALLOCTONI	barbo	0,192	29
NATIVI / ALLOCTONI Totale		0,192	29
ALLOCTONI	Siluro	32,855	24
	Rodeo amaro	0,276	215
	Carpa	0,147	4
	Persico sole	0,101	3

Stazione B3 origine	Specie	Peso (kg) totale	N. individui totale
	Carassio	0,088	3
ALLOCTONI Totale		33,467	249
Totale complessivo		38,514	680

Figura 7. Alcuni esemplari censiti nel tratto: vairone (sinistra), pigo (destra), gobione (sinistra al centro) e triotto (destra al centro), tinca (sinistra in basso), persico reale (destra in basso).



La stazione B1 è caratterizzata da un popolamento ittico principalmente autoctono; il vairone è molto abbondante; è stato osservato più volte un numeroso gruppo di cavedani adulti; sono stati censiti esemplari giovanili di pigo. La presenza del siluro (unica specie alloctona) è estremamente significativa, sia in termini numerici sia ponderali. La stazione B2 offre uno scenario molto simile a quello della stazione precedente, con significativa presenza dei ciprinidi autoctoni reofili e del siluro. Gran parte dei pesci del campione relativo alla stazione B3 è stata censita in corrispondenza della massicciata in sponda destra a valle del ponte di Vaprio: in tale punto è abbondante la presenza di esemplari giovanili di cavedano e barbo, di gobione, di triotto e di ghiozzo padano. Tra le specie alloctone, particolarmente abbondanti appaiono il rodeo amaro (in termini numerici) e il siluro (in termini numerici e ponderali).

3.2 Tratto C

Il Tratto C è segnato da antropizzazione del territorio circostante e da uniformità idromorfologica, che determina un giudizio "mediocre" di funzionalità fluviale (IFF). Si denota una fascia vegetata perifluviale piuttosto discontinua e ristretta; una spiccata erosione delle rive, e una marcata lacustrizzazione verso valle, a causa della presenza dello sbarramento della Centrale Rusca. L'unità idromorfologica dominante è quella del *run* basso (profondità intorno al metro), con substrato ciottoloso soggetto a mobilità, come effetto della gestione delle derivazioni idriche, non adatto allo sviluppo di una comunità macrofittica. Riguardo all' idoneità ittica del tratto, essa è giudicata discreta, per via della monotonia dell'habitat.

Figura 8. Viste del tratto di fiume in oggetto; Stazione C2.



Tabella 5. Elenco e caratterizzazione dei rifugi nel tratto C; la numerazione fa riferimento alla cartina in Figura 1.

Id	STAZIONE	TIPOLOGIA DI RIFUGIO	DESCRIZIONE	SPECIE OSSERVATE	PRESENZA DEL SILURO (SULLA SCORTA DELLE OSSERVAZIONI O DELL'UTILIZZO POTENZIALE)
23	C1	PRISMATA	ELEMENTI DI PICCOLE DIMENSIONI, SPAZI INTERSTIZIALI NON INTASATI	POCHI PESCI DI PICCOLA TAGLIA E PICCOLI SILURI	GIOVANI
24	C1	CEPPAIE	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, BEN SOMMERSI	MOLTI PESCI PICCOLI, LUCCIO, ANGUILLA	GIOVANI
25	C1	CEPPAIE	ELEMENTI DI DISCRETE DIMENSIONI, POCO SOMMERSI CON FONDO LIMOSO	PICCOLI PESCI, POCI	GIOVANI
26	C1	PIEDE DEI PILONI DEL PONTE	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, NON INTASATI E BEN SOMMERSI	SILURI GRANDI E GROSSI CAVEDANI	TUTTE LE TAGLIE
27	C1	PRISMATA	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, NON INTASATI E BEN SOMMERSI	TANTI PESCI, PICCOLI E GRANDI, SILURO	TUTTE LE TAGLIE
28	C2	MACROFITE SOMMERSE	COPERTURA ESTIVA	D'ESTATE GROSSI SILURI	TUTTE LE TAGLIE
29	C2	CEPPAIE E BUCA PROFONDA	AREA LIMITATA	SILURO CAVEDANO CARASSIO	TUTTE LE TAGLIE
30	C2	CEPPAIE	ELEMENTI DISTANZIATI E DI MODESTE DIMENSIONI	PICCOLI PESCI, POCI	GIOVANI
31	C2	CEPPAIE	ELEMENTI DI GRANDI DIMENSIONI, BEN SOMMERSI	TANTI PESCI E SILURI	TUTTE LE TAGLIE

La stazione C1 si estende dalla diga di Sant'Anna alla restituzione della centrale di Vaprio d'Adda. Il tratto è caratterizzato da acque poco profonde e piuttosto turbolente; fondo di ghiaia e ciottoli e alcuni accumuli sabbiosi lungo le sponde. Si denota una presenza ridotta di rifugi costituiti essenzialmente da una prismata posta a monte del tratto (Figura 2, punto 23), da rade ceppaie (Figura 2, punti 24, 25) di medie dimensioni. Nel tratto subito a valle del ponte pedonale (Figura 2, punto 26) si trova una prismata di grossi massi (Figura 2, punto 27)

in un tratto a ridotta velocità di corrente e con moto laminare verso la sponda sinistra. A centro fiume permane una certa turbolenza e velocità di corrente. In questa stazione il censimento ittico è stato condotto una sola volta; il risultato è esposto nella seguente tabella.

Figura 9. La carenza di rifugi lungo le sponde (sinistra) e una breve prismata con scarsa disponibilità di rifugi (destra, Figura 2. Mappa dei rifugi prioritari per le specie ittiche nel sito di interesse, punto 23).

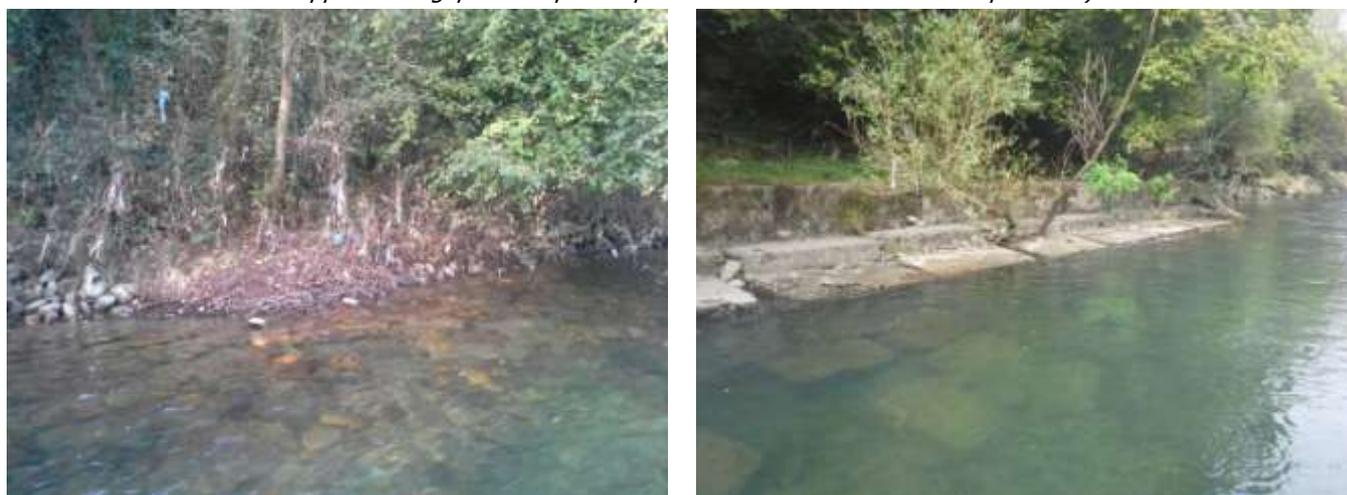


Tabella 6. Risultato del campionamento mediante elettropesca condotta nella stazione C1 in occasione del censimento ittico.

Stazione C1		Peso (kg) totale	N. individui totale
origine	Specie		
NATIVI	Anguilla	0,977	2
	Scardola	0,432	15
	Gobione	0,365	58
	Vairone	0,264	66
	Luccio cisalpino	0,142	1
	Triotto	0,117	32
	Tinca	0,066	1
	Persico reale	0,036	2
	Cavedano	0,028	18
	NATIVI Totale		2,426
ALLOCTONI	Siluro	15,329	12
	Carassio	6,098	4
	Rodeo amaro	0,144	47
	Gardon	0,116	40
ALLOCTONI Totale		21,688	103
Totale complessivo		24,114	298

La stazione C2 è posta immediatamente a valle della restituzione della centrale di Vaprio d'Adda fino alla diga della Centrale Rusca. Qui è stato campionato per un breve tratto terminale anche il canale di restituzione della centrale. In questo punto l'Adda scorre a ridotta velocità di corrente con moto laminare per effetto della diga. I rifugi sono costituiti dalle ceppaie presenti lungo le sponde (Figura 2. punti 29, 30, 31). Il fondale è formato per la maggior parte da substrato ghiaioso. La maggiore profondità si trova in prossimità della diga verso la sponda destra nei pressi di una vecchia strada sommersa. In questa stazione il censimento ittico è stato condotto due volte; il risultato è esposto nella seguente tabella.

Figura 10. Alcune ceppaie della stazione C2.

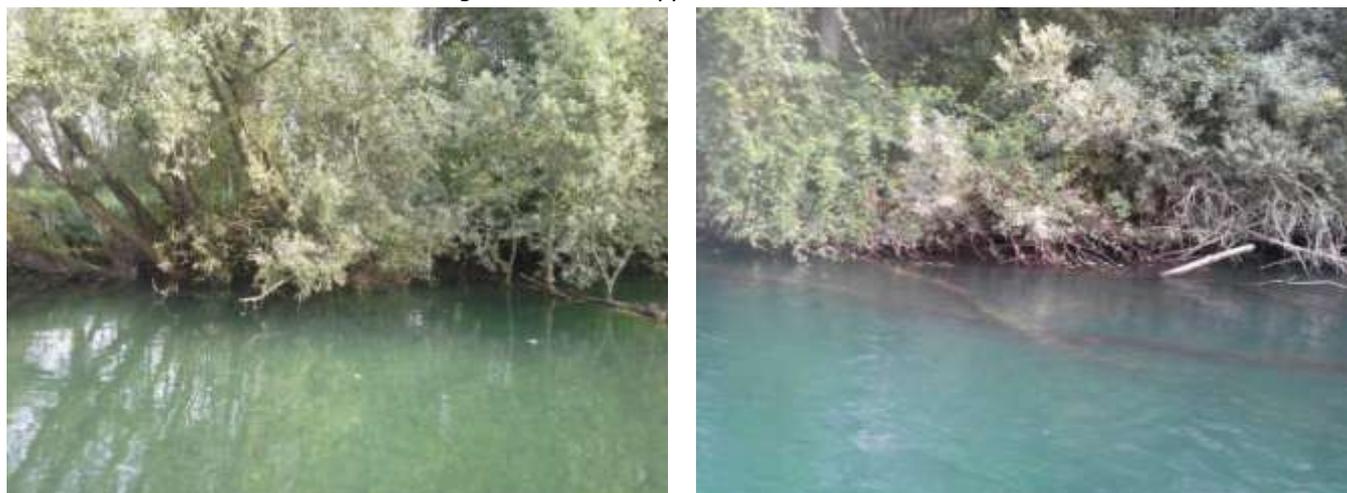


Tabella 7. Risultato del campionamento mediante elettropesca condotto nella stazione C2 in occasione del censimento ittico.

origine	Specie	Peso (kg) totale	N. individui totale
NATIVI	Anguilla	13,655	15
	Luccio cisalpino	5,405	4
	Cavedano	4,939	709
	Tinca	4,589	39
	Pigo	2,479	56
	Savetta	2,229	17
	Scardola	1,998	140
	Persico reale	0,536	43
	Gobione	0,481	82
	Triotto	0,422	72
	Vairone	0,103	45
	Sanguinerola	0,030	25
	Alborella	0,018	13
	Ghiozzo padano	0,016	11
NATIVI Totale		36,901	1271
NATIVI / ALLOCTONI	Ibrido pigo x gardon	1,987	7
	Ibrido triotto x gardon	0,519	2
	barbo	0,016	12
NATIVI / ALLOCTONI Totale		2,522	21
ALLOCTONI	Siluro	24,021	24
	Carpa	15,526	18
	Rodeo amaro	1,924	704
	Carassio	1,217	8
	Luccio	0,607	1
	Lucioperca	0,423	4
	Gardon	0,251	28
ALLOCTONI Totale		43,968	787
Totale complessivo		83,390	2079

Complessivamente il tratto a monte della restituzione della centrale di Vaprio (corrispondente alla stazione C1) è caratterizzato da una scarsa idoneità ittica, dovuta all'idromorfologia del tratto (run basso e veloce, scarsità di rifugi nel sottosponda). Il campione ha preponderanza numerica di pesci autoctoni (di piccola taglia): i pesci censiti di maggiore taglia sono il siluro e il carassio, catturati in prossimità del ponte pedonale e probabilmente provenienti dalle acque più profonde della buca con massicciata posta a valle. A valle della restituzione della centrale di Vaprio l'idoneità ittica è maggiore, per quanto la presenza della diga della Rusca alteri l'idromorfologia del tratto. Sussistono infatti almeno due elementi di diversificazione ambientale: il primo è il

canale di restituzione della centrale di Vaprio, il cui percorso crea un esteso habitat adatto ai ciprinidi reofili, ricco peraltro di elementi di ritenzione dei nutrienti (ceppaie, rami sommersi, detriti legnosi su fondo prevalentemente sabbioso e ghiaioso); il secondo è un canale a bassa velocità di corrente (restituzione del Linificio e Canapificio Nazionale di Fara Gera), particolarmente adatto come rifugio invernale. Proprio in corrispondenza di tale restituzione si crea una buca profonda ove sono stati catturati alcuni esemplari adulti di carpa e osservati esemplari adulti di cavedano. Per quanto il tratto di valle (stazione C2) sia caratterizzato complessivamente da una scarsa disponibilità di rifugi e da alterazione dell'idromorfologia naturale, la presenza dei due elementi laterali citati garantisce una discreta disponibilità di habitat.

Figura 11. Attività di elettropesca da barca nella stazione C2.



Nella stazione C2 sono state censite complessivamente almeno 22 specie: 14 specie autoctone, tra le quali alcune di rilievo conservazionistico (alborella, luccio cisalpino, anguilla, pigo, savetta); 7 specie alloctone (siluro e carpa in primis) e *Barbus sp.* (la cui determinazione dell'origine è correlata alla specie). Il censimento ha attestato la presenza di gardon e dei suoi ibridi pigo-gardon e triotto-gardon. Il rodeo amaro è particolarmente abbondante in prossimità dei rifugi spondali e dove l'acqua rallenta maggiormente. Si denota la presenza concomitante del luccio (*Esox lucius*) e del luccio cisalpino (*Esox cisalpinus*).

Tabella 8. Numero di taxa complessivamente censiti nel sito di interesse e nei tratti di monte e valle della diga di Sant'Anna. In azzurro gli autoctoni, in arancio gli alloctoni, in rosa gli ibridi (alloctoni, ma non sono specie valida), in giallo il barbo (la cui origine dipende dalla specie).

Complessivo	Tratto B (monte)	Tratto C (valle)
Alborella	Alborella	Alborella
Anguilla	Anguilla	Anguilla
Barbo	Barbo	Barbo
Cagnetta	Cagnetta	Assente
Carassio	Carassio	Carassio
Carpa	Carpa	Carpa
Cavedano	Cavedano	Cavedano
Cobite comune	Cobite comune	Assente
Gardon	Gardon	Gardon
Ghiozzo padano	Ghiozzo padano	Ghiozzo padano
Gobione	Gobione	Gobione
Ibrido Gardon-Pigo	Assente	Ibrido Gardon-Pigo
Ibrido Gardon-Triotto	Assente	Ibrido Gardon-Triotto
Luccio	Assente	Luccio
Luccio cisalpino	Luccio cisalpino	Luccio cisalpino
Lucioperca	Assente	Lucioperca
Persico reale	Persico reale	Persico reale
Persico sole	Persico sole	Assente
Pigo	Pigo	Pigo
Rodeo amaro	Rodeo amaro	Rodeo amaro
Sanguinerola	Sanguinerola	Sanguinerola
Savetta	Assente	Savetta
Scardola	Scardola	Scardola
Scazzone	Scazzone	Assente
Siluro	Siluro	Siluro
Tinca	Tinca	Tinca
Triotto	Triotto	Triotto
Vairone	Vairone	Vairone
17 specie autoctone	16 specie autoctone	14 specie autoctone
8 specie alloctone + 2 ibridi	6 specie alloctone	7 specie alloctone + 2 ibridi
26 specie + 2 ibridi	23 specie	22 specie + 2 ibridi

Nella tabella precedente si osserva come le comunità ittiche a monte e a valle della diga siano sostanzialmente omogenee: in effetti entrambe i tratti in oggetto sono accomunati dalla presenza di dighe che modificano la loro idromorfologia, dalla modestissima disponibilità di rifugi spondali, e dalla presenza di tratti ad elevata velocità di corrente e turbolenza. La restituzione della centrale di Vaprio, ambiente reofilo dalle sponde boscate, rappresenta una *source area* di indubbio valore ecologico per i ciprinidi reofili. Nel tratto di valle sono stati catturati esemplari di savetta e pigo, che giustificano ancora di più la presenza di un passaggio per pesci presso la diga di Sant'Anna. A monte della diga stessa e in prossimità della confluenza del Fiume Brembo, non si percepiscono gli effetti della presenza dello sbarramento artificiale e si evidenzia una disponibilità di habitat adatti appunto a queste specie reofile. La funzionalità del passaggio per pesci rappresenta una condizione indispensabile perché possano sussistere flussi migratori verso queste zone e quelle ancora più a monte.

4. Risultati

La verifica della funzionalità del passaggio per pesci è stata condotta mediante una serie di attività di campo e la successiva elaborazione delle misurazioni svolte. Le attività di campo, concentrate nella giornata del 21 ottobre 2015, hanno riguardato sia il campionamento della fauna ittica, sia il rilievo di parametri geometrici ed idraulici necessari per la verifica del corretto funzionamento del dispositivo di risalita, sia il rilievo visivo (e fotografico) dell'intera opera e del contesto in cui è inserita.

I dati raccolti sono quindi stati elaborati in una fase successiva ed utilizzati per la stesura del presente rapporto.

Di seguito sono descritte in due parti distinte le attività svolte nel corso dei rilievi in loco e i risultati delle analisi e delle elaborazioni svolte successivamente.

4.1 *Verifica visiva*

In occasione del sopralluogo è stata effettuata una doppia ispezione del passaggio per pesci: una in presenza di acqua ed una con il passaggio in asciutta. Scopo dell'ispezione in presenza di acqua è stato quello di verificare la corretta connessione idraulica dei bacini e la presenza di eventuali anomalie (disomogeneità dei salti tra bacini contigui, livello di invaso superiore alla quota sommitale dei setti, rigurgito di valle, raccordo con l'alveo a monte, ...). L'ispezione in presenza di acqua non è stata effettuata nel tratto di passaggio artificiale in galleria (dal bacino 8 al bacino 14) ed è stata effettuata in modo parziale nella parte iniziale, dove il passaggio artificiale è interrato e accessibile da alcuni grigliati.

L'ispezione in asciutta è stata, invece, finalizzata alla verifica dello stato di conservazione delle strutture e della presenza di occlusioni parziali o totali delle fessure laterali e dei fori di fondo. L'ispezione in asciutta ha riguardato l'intera struttura, compresa la parte interrata e quella in galleria.

4.2 *Rilievo geometrico e altimetrico*

I rilievi geometrici, finalizzati alla verifica della corretta progettazione del sistema, sono stati effettuati in assenza d'acqua. Sono state misurate, su alcuni setti campione, le seguenti grandezze:

- dimensioni del foro di fondo;
- larghezza e profondità della fessura laterale;
- altezza dei setti;
- larghezza dei setti.

Il rilievo geometrico è stato integrato con un rilievo altimetrico nel corso del quale sono state rilevate le quote sommitali di tutti i setti del tratto fuori terra e di alcuni setti del tratto interrato. Non è stato possibile rilevare i setti del tratto in galleria. Il rilievo altimetrico è stato effettuato con un livello digitale Leica Sprinter.

Nel corso del rilievo altimetrico sono state rilevate anche le quote del F. Adda a monte e a valle della diga di S. Anna.

Figura 12. Alcune fasi del rilievo altimetrico



Tabella 9. Misure acquisite nel corso del rilievo geometrico ed altimetrico

BACINI		
Progr.	Copertura	Note
Adda	aperto	
0	grigliato	curva 90°
1	grigliato	
2	coperto	
3	grigliato	
4	coperto	
5	coperto	
6	coperto	
7	grigliato	curva 45°
8	tunnel	
9	tunnel	
10	tunnel	
11	tunnel	
12	tunnel	
13	tunnel	
14	tunnel	
15	aperto	
16	aperto	
17	aperto	
18	aperto	
19	aperto	
20	aperto	
21	aperto	
22	aperto	
23	aperto	
24	aperto	
25	aperto	
26	aperto	
27	aperto	
28	aperto	
29	aperto	
30	aperto	
31	aperto	
32	aperto	curva 90°

SETTI							
Progr.	Setto		Fessura laterale		Foro di fondo		Quota sommità [m s.l.m.]
	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	
Adda - 0							
0 - 1	160	240	80	35	23	21	131.06
1 - 2							130.85
2 - 3	155	240	80	36	22	21	
3 - 4							130.45
4 - 5							
5 - 6							
6 - 7							
7 - 8	156	235	80	33	21	21	
8 - 9	155	236	80	36	19	21	
9 - 10							
10 - 11							
11 - 12							
12 - 13							
13 - 14							
14 - 15	160	235	80	35	22	21	
15 - 16							128.08
16 - 17							127.91
17 - 18	155	235	80	36	21	20	127.74
18 - 19							127.56
19 - 20							127.37
20 - 21							127.20
21 - 22	155	233	80	32	20	20	127.02
22 - 23							126.84
23 - 24	158	142	80	36.5	21	21	126.68
24 - 25			80	37			126.51
25 - 26							126.30
26 - 27			80	35			126.18
27 - 28			80	36			125.99
28 - 29			80	36			125.83
29 - 30			85	34			125.70
30 - 31			85	34			125.50
31 - 32			92	37			125.34
32 - Adda			98	35			125.30

4.3 Rilievo idraulico

A differenza dei rilievi geometrici, i rilievi idraulici sono stati effettuati in presenza di acqua e non è stato quindi possibile effettuarli nel tratto in galleria e nel tratto interrato. Sono stati rilevati i livelli dell'acqua a monte e a valle dei setti, misurati come distanza tra il pelo libero e la sommità dei setti. In questo modo è stato possibile integrare queste misure con il rilievo altimetrico svolto con il passaggio artificiale in asciutta.

Nell'ambito del rilievo idraulico sono poi state misurate le velocità medie della corrente all'interno delle fessure laterali dei setti separatori, a quote variabili. La misura è stata effettuata con un mulinello idraulico.

Infine è stata svolta una misura della portata che transitava nel passaggio artificiale. La misura della portata è stata eseguita secondo le norme UNI EN ISO 748:2003, con l'utilizzo di un correntometro "Sonteck/YSI FlowTracker" che utilizza la tecnologia Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). Lo strumento usa il principio Doppler, misurando lo spostamento di frequenza del suono riflesso dalle particelle in sospensione (sostanza in sospensione, piccoli organismi, bollicine). Nelle immagini seguenti viene raffigurata l'unità portatile utilizzata.

Figura 13. Misure della portata in ingresso al passaggio artificiale (a sinistra) e misura della velocità media in corrispondenza di una fessura laterale (a destra)



Tabella 10. Misure di velocità media a quota variabile all'interno delle fessure laterali

PROGR. SETTO	V a + 0 CM [M/S]	+ V a + 10 CM [M/S]	+ V a + 20 CM [M/S]	+ V a + 30 CM [M/S]	BATTENTE [CM]
setto 0 - 1	1.54	1.18	1.17	1	38
setto 1 - 2	1.74	1.33	1.22	0.9	44
setto 17 - 18	1.64	1.46	1.34	1.25	44
setto 19 - 20	1.53	1.34	1.96	1.05	44
setto 21 - 22	1.23	1.33	1.06	1.11	43

setto 23 - 24	1.23	1.37	1.35	1.12	43
setto 25 - 26	0.85	0.96	0.87	0.79	41
setto 27 - 28	0.53	0.88	0.99	0.92	42
setto 29 - 30	0.66	0.77	0.92	0.91	0.96
setto 31 - 32	-	-	-	-	80

Figura 14. Estratto del rapporto strumentale relativo alla misura della portata in ingresso al passaggio artificiale

Bollettino Misura di Portata												Data produzione: Fri Oct 23 2015																									
File Nome File: SANNA.WAD Data e Orario Inizio Misura: 2015/10/21 14:45:47						Dettagli Sezione Nome Sezione: Operatore/i: BENIA																															
Informazioni Sistema Tipologia Sensore: FlowTracker Num. Seriale: P4830 Versione Firmware CPU: 3.9 Ver. Software: 2.30 Fattore correzione staffa: 0.0%						Unità (Sistema Metrico) Distanza: m Velocità: m/s Area: m ² Portata: m ³ /s			Incertezza Portata																												
Informazioni generali Int di Acquisizione: 30 Sonda Inizio Misura: Sonda Sx SNR Medio: 20.9 dB Temperatura media: 13.56 °C Equazione: Sez Centrale						Num. Verticali: 23 Larghezza Totale: 2.050 Area Totale: 1.042 Profondità Media: 0.508 Velocità Media: 0.2005 Portata Totale: 0.2088			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>ISO</th> <th>Stats</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Accuratezza</td> <td>1.0%</td> <td>1.0%</td> </tr> <tr> <td>Profondità</td> <td>0.1%</td> <td>0.2%</td> </tr> <tr> <td>Velocità</td> <td>0.2%</td> <td>3.0%</td> </tr> <tr> <td>Larghezza</td> <td>0.1%</td> <td>0.1%</td> </tr> <tr> <td>Metodo</td> <td>1.7%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Num. Stazioni</td> <td>2.2%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Totale</td> <td>3.0%</td> <td>3.1%</td> </tr> </tbody> </table>					Categoria	ISO	Stats	Accuratezza	1.0%	1.0%	Profondità	0.1%	0.2%	Velocità	0.2%	3.0%	Larghezza	0.1%	0.1%	Metodo	1.7%	-	Num. Stazioni	2.2%	-	Totale	3.0%	3.1%
Categoria	ISO	Stats																																			
Accuratezza	1.0%	1.0%																																			
Profondità	0.1%	0.2%																																			
Velocità	0.2%	3.0%																																			
Larghezza	0.1%	0.1%																																			
Metodo	1.7%	-																																			
Num. Stazioni	2.2%	-																																			
Totale	3.0%	3.1%																																			
Risultati Misura																																					
Vert	Orario	Prg	Metodo	Prf	Prf%	PMis	Vel.	FattCorr	VelMedia	Area	Portata	Portata%																									
0	14:45	0.00	Nessuno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0																									
1	15:03	0.05	0.6	0.500	0.6	0.200	0.0007	1.00	0.0007	0.025	0.0000	0.0																									
2	14:45	0.10	0.6	0.520	0.6	0.208	0.2011	1.00	0.2011	0.039	0.0078	3.8																									
3	15:02	0.20	0.6	0.510	0.6	0.204	0.2171	1.00	0.2171	0.051	0.0111	5.3																									
4	14:46	0.30	0.6	0.510	0.6	0.204	0.2041	1.00	0.2041	0.051	0.0104	5.0																									
5	15:01	0.40	0.6	0.520	0.6	0.208	0.2343	1.00	0.2343	0.052	0.0122	5.8																									
6	14:47	0.50	0.6	0.510	0.6	0.204	0.2003	1.00	0.2003	0.051	0.0102	4.9																									
7	15:00	0.60	0.6	0.520	0.6	0.208	0.2270	1.00	0.2270	0.052	0.0118	5.7																									
8	14:48	0.70	0.6	0.520	0.6	0.208	0.1980	1.00	0.1980	0.052	0.0103	4.9																									
9	14:59	0.80	0.6	0.520	0.6	0.208	0.2170	1.00	0.2170	0.052	0.0113	5.4																									
10	14:49	0.90	0.6	0.520	0.6	0.208	0.2027	1.00	0.2027	0.052	0.0105	5.0																									
11	14:51	1.00	0.6	0.520	0.6	0.208	0.2094	1.00	0.2094	0.052	0.0109	5.2																									
12	14:51	1.10	0.6	0.520	0.6	0.208	0.2012	1.00	0.2012	0.052	0.0105	5.0																									
13	14:52	1.20	0.6	0.520	0.6	0.208	0.1978	1.00	0.1978	0.052	0.0103	4.9																									
14	14:53	1.30	0.6	0.520	0.6	0.208	0.1929	1.00	0.1929	0.052	0.0100	4.8																									
15	14:54	1.40	0.6	0.520	0.6	0.208	0.1928	1.00	0.1928	0.052	0.0100	4.8																									
16	14:54	1.50	0.6	0.520	0.6	0.208	0.1938	1.00	0.1938	0.052	0.0101	4.8																									
17	14:55	1.60	0.6	0.520	0.6	0.208	0.1964	1.00	0.1964	0.052	0.0102	4.9																									
18	14:56	1.70	0.6	0.530	0.6	0.212	0.2027	1.00	0.2027	0.053	0.0107	5.1																									
19	14:57	1.80	0.6	0.530	0.6	0.212	0.2056	1.00	0.2056	0.053	0.0109	5.2																									
20	14:58	1.90	0.6	0.540	0.6	0.216	0.2069	1.00	0.2069	0.054	0.0112	5.3																									
21	14:58	2.00	0.6	0.540	0.6	0.216	0.2068	1.00	0.2068	0.041	0.0084	4.0																									
22	14:58	2.05	Nessuno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0																									

Le righe in "italics" indicano un avviso per il Controllo di Qualità (CQ)

4.4 Censimento ittico

La presenza di ittiofauna nella struttura è stata verificata mediante messa in asciutta dell'opera e ispezione dei bacini. È importante sottolineare che il rinvenimento dell' ittiofauna nei bacini non è sufficiente di per sé a decretare la funzionalità della struttura: è possibile infatti che essa provenga esclusivamente da monte e che la risalita sia impossibilitata da parametri idraulici sfavorevoli; si tenga peraltro conto che l'assenza di pesci nel passaggio può essere anche un'evenienza casuale dovuta a condizioni ambientali (e temporanee) di contorno (portata del fiume, temperatura etc.). Un giudizio definitivo sulla funzionalità può essere condotto sulla base di videomonitoraggio in continuo (proposto nel presente elaborato); tuttavia l'eventuale presenza di pesci nel passaggio e la conformità dei parametri idraulici rilevati a quelli raccomandati in letteratura del settore rappresentano elementi molto significativi nel formulare un giudizio di funzionalità.

Per verificare la presenza di ittiofauna nel passaggio per pesci si è proceduto alla chiusura della paratoia di monte; sono stati posizionati quindi due guadini sugli orifizi del primo bacino non rigurgitato, così da impedire la discesa dei pesci. Il passaggio è stato quindi ispezionato da monte a valle in condizioni di sicurezza; seguendo il defluire dell'acqua nei bacini ci si è accertati che i pesci non rimanessero in secca (data la loro tendenza a risalire al diminuire del battente idrico). L'operazione così organizzata non ha richiesto l'impiego dell'elettropesca, garantendo così uno stress minimo all'ittiofauna censita.

Figura 15. Misurazione dei pesci campionati in seguito alla chiusura della paratoia e all'ispezione dei bacini: fase di misurazione dei pesci campionati



Sono stati rinvenuti 10 esemplari di pesci appartenenti a tre specie (barbo comune, cavedano, vairone).

Tabella 11. Esemplari campionati nel passaggio per pesci: specie, lunghezza e stadio vitale.

Specie	Lunghezza (mm)	Stadio vitale
Barbo comune	339	Adulto
Barbo comune	358	Adulto
Barbo comune	221	Sub adulto
Barbo comune	60	Giovane
Barbo comune	92	Giovane
Cavedano	169	Sub adulto
Cavedano	83	Giovane
Cavedano	82	Giovane
Vairone	137	Adulto
Vairone	74	Adulto

Malgrado il numero di esemplari sia esiguo, le specie catturate sono rappresentative della comunità ittica a ciprinidi reofili del Fiume Adda. Gli stadi vitali identificati sono eterogenei, con significativa presenza di giovanili, per quanto non sia possibile determinare con certezza la loro provenienza (monte o valle).

Figura 16. Alcuni esemplari campionati nel passaggio per pesci; barbo comune (sopra), cavedano (in mezzo), vairone (sotto).



Se i valori di velocità e turbolenza dell'acqua assumono valori opportuni, le specie reofile si trovano particolarmente a proprio agio nel passaggio per pesci, soddisfacendo le proprie esigenze trofiche e sostandovi anche per giorni o mesi. Le specie limnofile tendono invece ad utilizzare i passaggi per pesci a bacini successivi solamente per necessità migratorie, permanendo nelle strutture solo il tempo necessario ad attraversarle. Effettuate queste considerazioni si ritiene pertanto significativa la presenza di specie a vocazione reofila, mentre, data l'etologia delle specie limnofile e data la natura puntiforme del campionamento, non può essere ritenuta significativa l'assenza delle specie limnofile stesse. Una valutazione più esauriente sulla funzionalità della struttura (sulla base della presenza delle specie ittiche) può essere condotta mediante l'opportuno posizionamento di una videocamera sommersa che riprenda in continuo il transito dell'ittiofauna attraverso gli orifici.

4.5 Elaborazioni ex post

4.5.1 VERIFICA VISIVA

In occasione dell'ispezione della struttura si è osservata l'assenza di griglia protettiva dell'imbocco del passaggio per pesci; questo aumenta indubbiamente l'apporto di materiale estraneo all'interno del passaggio per pesci. Malgrado la struttura sia soggetta ad interventi di manutenzione ordinaria (rimozione del materiale detritico) effettuati con frequenza settimanale, mettendo in asciutta il sistema, si è riscontrato il parziale intasamento di alcuni fori di fondo generato da rami e fogliame: tale intasamento risulta potenzialmente significativo in termini di alterazione dei parametri idraulici e probabilmente lo è anche in termini di percorribilità del passaggio da parte di specie bentoniche e di taglia. Questo fenomeno è in parte dovuto anche alle ridotte dimensioni del foro di fondo (20 x 20 cm). Nei bacini più a valle si denotano infine depositi di pietrisco all'interno dei bacini, generati presumibilmente da fenomeni di piena, i cui effetti sono ben visibili anche sulla recinzione posta sull'argine del fiume. La presenza di tali depositi non pare comunque alterare i parametri idraulici né la percorribilità della struttura.

4.5.2 VERIFICA PARAMETRI / GEOMETRICI (L/B, B/B,....)

Il rilievo della geometria dei setti consente di effettuare una verifica speditiva del rispetto dei rapporti geometrici da osservare nella progettazione e nella realizzazione di un passaggio artificiale a bacini successivi. Rimandando alla letteratura di settore¹ per una spiegazione di dettaglio del perché è opportuno che vengano rispettati, nella seguente tabella è riportato un confronto tra i valori riscontrati ed i valori di riferimento suggeriti dalla letteratura di settore.

Tabella 12. Verifica della conformità dei rapporti tra i parametri geometrici

PARAMETRO	VALORI CONSIGLIATI	VALORI RISCONTRATI		
		MEDIA	MASSIMO	MINIMO
Rapporto L/B (lunghezza bacino / larghezza bacino)	1.6 - 1.8	1.13	1.13	1.13
			Bacino 0	Bacino 0
Rapporto L/b (lunghezza bacino / larghezza fessura)	7-12	7.59	8.44	7.30
			Bacino 21	Bacino 24
Rapporto B/b (larghezza bacino / larghezza fessura)	4-6	6.74	7.50	6.49
			Bacino 21	Bacino 24

¹ Si cita ad esempio il "Quaderno della Ricerca n° 125 - gennaio 2011, *Interventi idraulici ittiocompatibili: linee guida*". Pubblicato da Regione Lombardia

Dalla tabella si osserva che il rapporto L/b risulta sempre rispettato, mentre i rapporti L/B e B/b non sono del tutto rispettati. Si presume che questo risultato sia dovuto al fatto che il passaggio artificiale sia stato realizzato sfruttando l'impronta del passaggio artificiale preesistente, dove presumibilmente transitava una portata maggiore. In pratica il passaggio artificiale è "troppo largo"; se fosse più stretto, infatti, tutti i rapporti sarebbero rispettati. Il mancato rispetto di questi vincoli potrebbe creare problemi di movimento solo per pesci di grandi dimensioni (ad esempio storioni di lunghezza superiore al metro).

4.5.3 VERIFICA PARAMETRI IDRAULICI

La verifica dei parametri idraulici, ancora più di quella dei parametri geometrici, consente di verificare, almeno in linea teorica, fino a che punto il passaggio artificiale è fruibile da parte della fauna ittica e se le condizioni idrauliche che si instaurano nei bacini e attraverso i setti risultano limitanti per qualche specie ittica o per individui con capacità natatorie meno spiccate.

La verifica del funzionamento idraulico è stata effettuata per mezzo di uno specifico modello di calcolo che, sulla base dei dati geometrici inseriti e delle condizioni al contorno (livello idrometrico di monte e di valle), è in grado di tracciare il profilo idraulico lungo il passaggio artificiale e di calcolare i principali parametri idraulici di controllo.

Il funzionamento idraulico del passaggio artificiale della diga di S. Anna è stato verificato sia con le condizioni al contorno riscontrato il giorno dei rilievi (21 ottobre 2015), sia in condizioni di funzionamento "limite" diverse da quelle riscontrate. Nei prossimi due paragrafi sono riportati i risultati ottenuti.

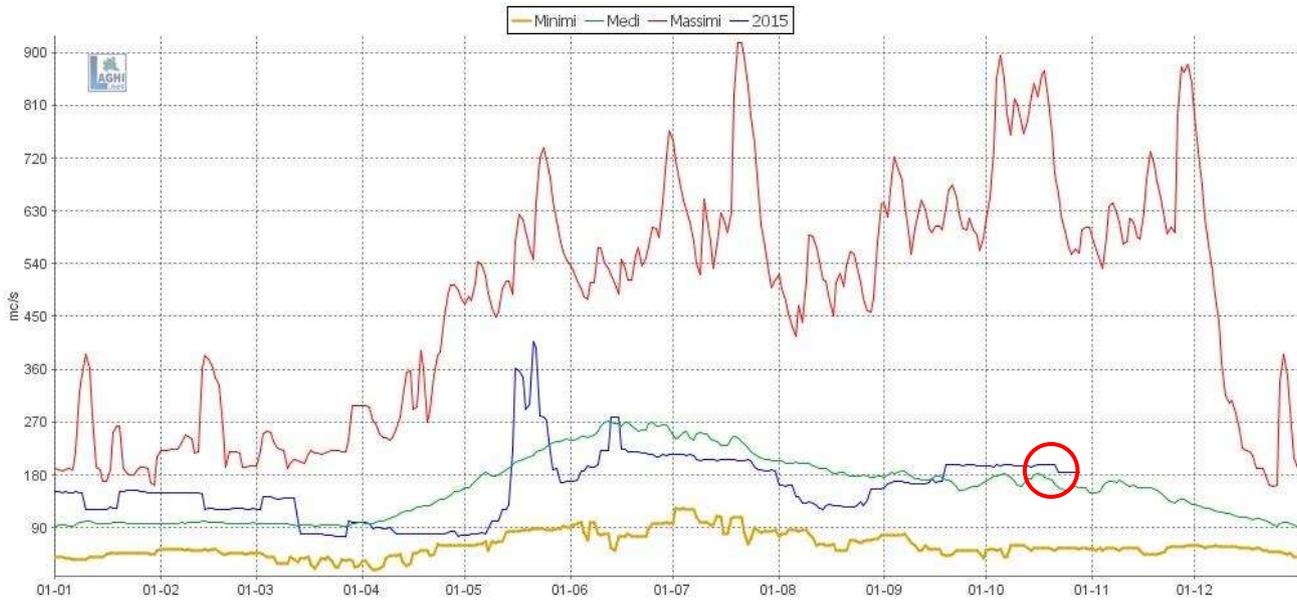
4.5.3.1 SIMULAZIONE DI FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI DI RILIEVO

In prima istanza è stato verificato il passaggio nelle condizioni riscontrate il giorno del rilievo, ossia:

- Livello di monte pari a 130.70 m s.l.m.
- Livello di valle pari a 125.33 m s.l.m.
- Paratoia di monte completamente aperta
- Fessure laterali e fori di fondo liberi (assenza di occlusioni parziali o totali)

Nel grafico seguente è riportato l'andamento stagionale delle portate erogate dal F. Adda, in modo da inquadrare la condizione riscontrata nel contesto del regime idrologico del F. Adda sublacuale. Il 21 ottobre 2015, giorno in cui sono stati effettuati i rilievi, la portata erogata dal F. Adda era di 196.4 m³/s. Le condizioni riscontrate sono quindi quelle corrispondenti alle condizioni medie di rilascio in periodo tardo autunnale, con portate inferiori a quelle erogate nel pieno della stagione irrigua e superiori a quelle invernali.

Figura 17. Andamento stagionale della portata erogata dal F. Adda (fonte dati e grafico: laghi.net)



Nella seguente tabella sono riportati valori di riferimento relativi al corretto funzionamento di un passaggio a bacini successivi. In Tabella 14 è invece riportato il dettaglio dei parametri relativi a ciascun bacino e ciascun setto. Infine, in Figura 18 è rappresentato graficamente il profilo idraulico del passaggio artificiale nelle condizioni riscontrate, oltre ai dati relativi al funzionamento idraulico dell'intera struttura (portata transitante e gradiente medio).

Tabella 13. Funzionamento idraulico in condizioni normali (condizione del 21.10.15) - valori di riferimento e prospetto di sintesi

PARAMETRO	VALORI CONSIGLIATI		VALORI RISCOINTRATI		
	SALMONID I	CIPRINIDI	MEDIA	MASSIMO	MINIMO
Potenza specifica dissipata nei bacini [W/m³]	< 200	< 150	43	58	6
Velocità media in corrispondenza dell'apertura nel setto [m/s]	< 2		1.76	2.04	0.77
Rapporto H/·H (flusso rigurgitato)	> 2		5.06	34.07	2.15
				Setto 32- fiume-v	Setto 0-1
				Bacino 21	Bacino 24

Osservando i dati riportati nelle due tabelle si vede che i parametri di riferimento sono sempre rispettati: la potenza specifica dissipata, che rappresenta probabilmente il principale parametro di controllo, è sempre abbondantemente al di sotto del valore limite di riferimento di 150 W/m³.

Anche il rapporto $H/\Delta H$ è sempre superiore al valore minimo raccomandato, così come di fatto lo è la velocità media all'interno delle fessure che viene superata di poco in un solo caso. È interessante confrontare i dati relativi alla velocità media calcolati, riportati in Tabella 13, con quelli rilevati durante in sito (Tabella 10). Dal confronto si vede che le velocità medie reali sono mediamente all'interno del range 1.2 - 1.5 m/s per tutta la parte non rigurgitata del passaggio artificiale, per poi scendere progressivamente fino a valori inferiori ad 1 m/s in corrispondenza delle ultime fessure di valle. I valori misurati risultano sensibilmente inferiori di quelli calcolati. La portata calcolata coincide con quella misurata all'imbocco di monte del passaggio artificiale (208 l/s).

Osservando infine in valore relativo al salto tra due bacini contigui, si vede che i valori misurati, considerata l'incertezza associata a misure di quota di acqua soggetta a fenomeni di turbolenza, risultano sostanzialmente analoghi. I valori calcolati, verificati anche con misure dirette, risultano compatibili con i valori massimi suggeriti in letteratura (20-25 cm per ciprinidi, 25-30 cm per salmonidi).

Tabella 14. Funzionamento idraulico in condizioni normali (condizione del 21.10.15) - parametri idraulici nei bacini

Progressivo bacino	Dislivello rilevato rispetto al bacino successivo [m]	Dislivello calcolato 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	0.20	0.20	0.44	0.70	0
1	0.23	0.20	0.45	1.12	58
2	-	0.20	0.45	1.15	55
3	-	0.20	0.45	1.15	54
4	-	0.20	0.45	1.15	54
5	-	0.19	0.46	1.16	53
6	-	0.19	0.46	1.16	52
7	-	0.21	0.47	1.17	51
8	-	0.20	0.46	1.16	57
9	-	0.20	0.46	1.16	55
10	-	0.20	0.46	1.16	54
11	-	0.19	0.46	1.16	53
12	-	0.19	0.47	1.17	52
13	-	0.18	0.48	1.18	50
14	-	0.17	0.50	1.20	48
15	0.22	0.17	0.51	1.22	45
16	0.19	0.17	0.50	1.22	44
17	0.18	0.18	0.50	1.21	45
18	0.17	0.17	0.50	1.21	47
19	0.19	0.17	0.51	1.22	45
20	0.18	0.16	0.52	1.23	42
21	0.20	0.20	0.53	1.24	42
22	0.19	0.16	0.52	1.23	50
23	0.19	0.16	0.52	1.23	42
24	0.16	0.16	0.52	1.24	41
25	0.21	0.14	0.58	1.27	39
26	0.18	0.15	0.56	1.30	34
27	0.12	0.12	0.59	1.30	37
28	0.14	0.10	0.64	1.36	27
29	0.21	0.10	0.71	1.40	23
30	0.08	0.08	0.82	1.47	20
31	0.00	0.03	0.97	1.57	15
32	0.00	0.03	1.04	1.64	6

4.5.3.2 SIMULAZIONE DI FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI LIMITE

Oltre ad una verifica di funzionamento nelle condizioni idrauliche riscontrate in giorno del rilievo, condizione che è stata assunta come quella di funzionamento normale del sistema, sono state fatte delle verifiche di funzionamento in condizioni limite, andando a modificare i livelli idrici di monte e di valle. La diga di S. Anna è una traversa a servizio di un impianto idroelettrico ad acqua fluente; in impianti di questo tipo il livello a monte della traversa viene sempre mantenuto costante, a meno di condizioni di piena che richiedono l'apertura delle opere di regolazione. Non essendo di alcun interesse la verifica di funzionamento del passaggio per pesci in condizioni di piena, non sono state fatte verifiche di funzionamento con livelli di monte differenti da quello riscontrato il 21 ottobre 2015.

Non sono state fatte verifiche neanche per livelli di valle maggiori di quello riscontrato, in quanto livelli di valle elevati non compromettono il corretto funzionamento del sistema. Anche nelle condizioni del 21 ottobre, infatti, gli ultimi bacini di valle erano rigurgitati.

È stato quindi verificato solo il funzionamento idraulico con un livello di valle inferiore a quello rilevato. Sono state eseguite diverse simulazioni, abbassando progressivamente il livello di valle. Il corretto funzionamento del sistema è stato verificato fino ad un livello minimo di 124.50 m s.l.m., 83 cm inferiore rispetto a quello rilevato.

In queste condizioni, come si evince dai dati riportati in Tabella 15 e in Figura 19, il sistema riesce ancora a funzionare correttamente, rispettando i valori limite di potenza specifica dissipata e di salto tra bacini successivi. Per livelli di valle inferiori a 124.50 m s.l.m., il salto idraulico in corrispondenza dell'ultima fessura di valle supera i 25 cm e lo stramazzo diventa libero.

Tabella 15: funzionamento idraulico in condizioni di magra (livello di valle ridotto) - parametri idraulici nei 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	0.20	0.44	0.70	0
1	0.20	0.45	1.12	58
2	0.20	0.45	1.15	55
3	0.20	0.45	1.15	54
4	0.20	0.45	1.15	54
5	0.19	0.46	1.16	53
6	0.19	0.46	1.16	52
7	0.21	0.47	1.17	51
8	0.20	0.46	1.16	57
9	0.20	0.46	1.16	55
10	0.20	0.46	1.16	54
11	0.19	0.46	1.16	53
12	0.19	0.47	1.17	52
13	0.18	0.48	1.18	50
14	0.17	0.50	1.20	48
15	0.17	0.51	1.22	45
16	0.17	0.50	1.22	44
17	0.18	0.49	1.21	45
18	0.18	0.49	1.20	47
19	0.17	0.51	1.21	46
20	0.17	0.51	1.23	43
21	0.20	0.52	1.23	43
22	0.17	0.50	1.21	52
23	0.17	0.49	1.21	44
24	0.17	0.49	1.20	45
25	0.16	0.53	1.22	45
26	0.19	0.49	1.23	41
27	0.18	0.49	1.20	49
28	0.18	0.48	1.20	46
29	0.20	0.47	1.16	50
30	0.20	0.47	1.12	57
31	0.17	0.50	1.10	59
32	0.25	0.43	1.03	51

Figura 18. Funzionamento idraulico in condizioni normali (condizione del 21.10.15) - condizioni al contorno e profilo idraulico

RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: diga di S. Anna -rilievi 20 ottobre 2015					
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	0.208	130.70	125.33	5.37	5.9%
Valore di verifica					

Profilo idraulico del passaggio

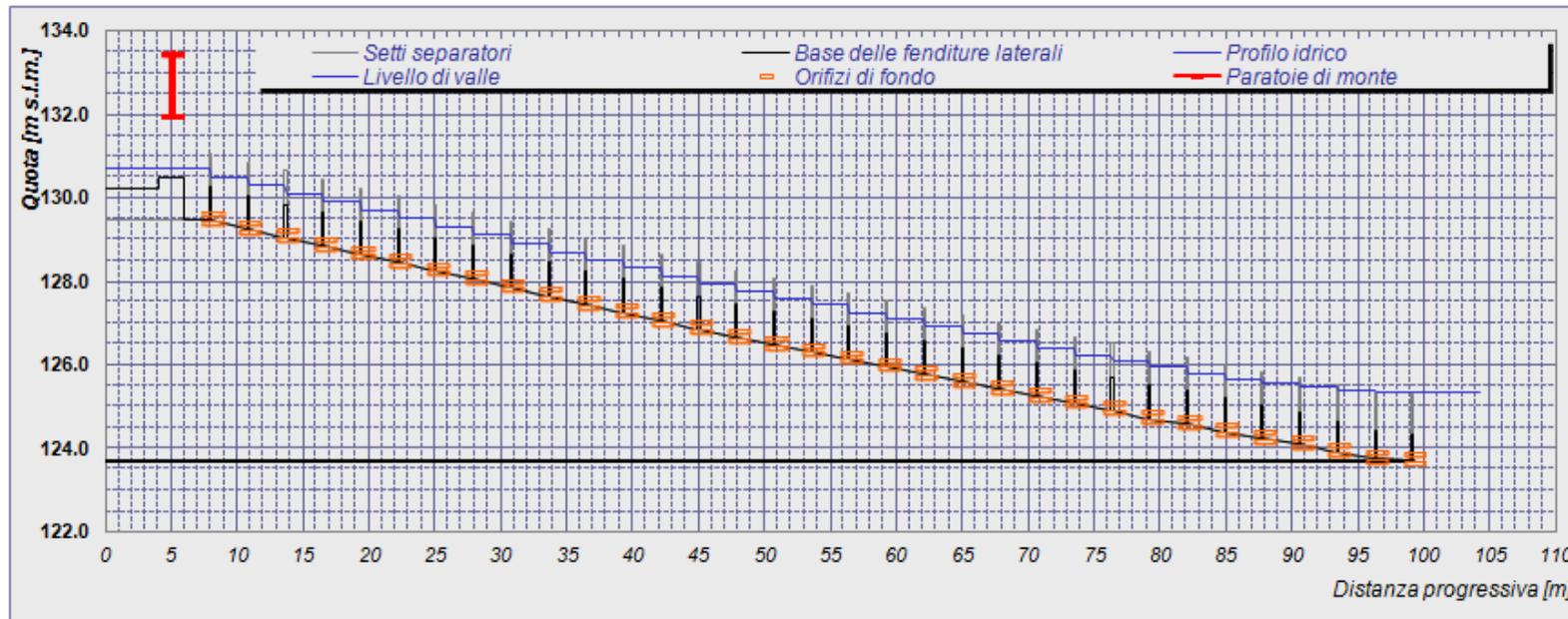


Figura 19. Funzionamento idraulico in condizioni di magra (livello di valle ridotto) - parametri idraulici nei bacini

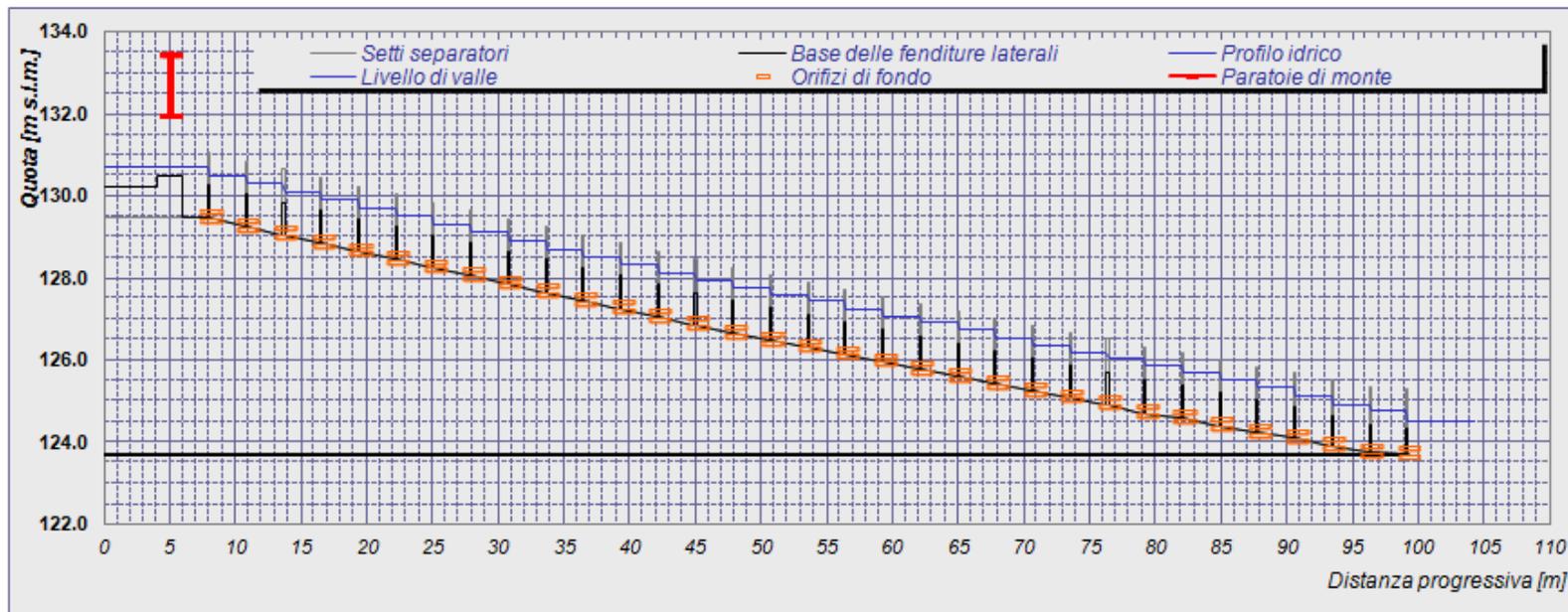
RIFERIMENTO PASSAGGIO PER PESCI: diga di S. Anna -rilievi 20 ottobre 2015

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO IDRAULICO: VERIFICA

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	0.208	130.70	125.33	5.37	5.9%
Valore di verifica	0.208	130.70	124.5	6.2	6.8%

Profilo idraulico del passaggio



5. Considerazioni conclusive

Da quanto si è potuto osservare durante il sopralluogo tecnico del 21 ottobre 2015 e dalle successive elaborazioni svolte utilizzando i dati raccolti si può affermare che il passaggio artificiale per la risalita della fauna ittica in corrispondenza della diga di S. Anna **funziona in modo corretto**. Le condizioni idrauliche rilevate, così come i risultati delle simulazioni svolte nella fase successiva sono tali da consentire la risalita di tutte le specie ittiche presenti nell'Adda, comprese quelle con capacità natatorie meno spiccate.

La principale criticità riscontrata riguarda le **ridotte dimensioni dei fori di fondo**, che, in assenza di regolare manutenzione, rischiano di occludersi compromettendo il corretto funzionamento dell'intero sistema.

In assenza di eventi di piena e/o di morbida si ritiene che la pulizia settimanale del sistema sia sufficiente a garantire la piena efficienza dello stesso; in quanto essa evita infatti che i fori di fondo rimangano occlusi (parzialmente o totalmente). La pulizia del passaggio artificiale deve comunque essere effettuata al termine di ogni evento di piena e di morbida, quando viene ripristinato il normale assetto idraulico del sistema.

Riprendendo i risultati delle verifiche idrauliche, l'unica anomalia riscontrata riguarda i rapporti geometrici dei bacini, che risultano "troppo larghi" in relazione alla loro lunghezza (rapporto lunghezza / larghezza pari a 1.13, a fronte di un valore minimo consigliato di 1.6) e alla larghezza della fessura laterale (rapporto larghezza bacino / larghezza fessura pari a 6.7, a fronte di un valore massimo consigliato di 6). Questo risultato potrebbe rappresentare un problema concreto se si fossero riscontrati dei valori di potenza specifica dissipata prossimi ai valori limiti consigliati: in questo caso, infatti, il mancato rispetto dei rapporti geometrici avrebbe rappresentato la necessità di avere bacini più lunghi.

Per quanto riguarda i risultati del censimento ittico si ritiene significativa la presenza delle tre specie ittiche rinvenute (barbo comune, cavedano, vairone): la presenza di esemplari giovanili delle stesse lascia supporre che le condizioni idrauliche all'interno della struttura siano favorevoli anche a pesci dalle limitate capacità natatorie. Si giudica pertanto funzionante il passaggio per pesci; ipotizzando verosimilmente che il transito delle specie limnofile o di quelle più rare possa essere documentato mediante videomonitoraggio in continuo.

6. Progettazione di un sistema di monitoraggio subacqueo

6.1 *I sistemi di monitoraggio per la risalita della fauna ittica*

Il videomonitoraggio in continuo costituisce uno dei principali metodi di verifica del funzionamento di un passaggio artificiale per pesci: 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 (conseguente all'intrappolamento e alla manipolazione da parte dell'operatore). In genere l'azione di monitoraggio viene effettuata in una camera di osservazione adiacente al passaggio per pesci e munita di una finestra che si apre sul canale di transito dell'ittiofauna. Attraverso tale finestra una videocamera registra in continuo: i filmati vengono quindi inviati al computer cui è collegata la videocamera stessa, per essere processati da uno specifico *software*, in grado di riconoscere e archiviare su *hard disk* i soli *frame* nei quali è percepito il movimento. In questo modo una virtuale registrazione giornaliera della durata di 24 h viene ridotta ad un collage di *frame* verosimilmente significativi e più agevolmente analizzabili dall'addetto al monitoraggio. I passaggi per pesci a bacini successivi in cui non sia stata prevista una camera in muratura per il videomonitoraggio possono essere attrezzati con un dispositivo mobile atto allo stesso scopo, costituito essenzialmente da:

- telecamera subacquea ad infrarossi (sensore ccd);
- adattatore analogico digitale USB;
- notebook (15.6" 4 Gb ddr, 500 hd);
- software per il monitoraggio;
- hard disk esterno (2 tera);
- alloggiamento del notebook che garantisca una protezione adeguata dagli agenti esterni (edificio in muratura o armadio esterno con grado di protezione IP 55 o superiore).

Tale adattamento consente di monitorare in continuo il transito dell'ittiofauna attraverso il passaggio per pesci (malgrado l'assenza di una apposita cabina di monitoraggio), permettendo di verificare la funzionalità della struttura e di approfondire la conoscenza della comunità ittica del corpo idrico oggetto del monitoraggio.

Figura 20. Alloggiamento del notebook in un armadio in metallo posizionato nei pressi del passaggio per pesci



In linea generale, affinché il videomonitoraggio costituisca una testimonianza della funzionalità del passaggio artificiale, è opportuno che la telecamera sia installata il più possibile a monte, in modo da massimizzare la probabilità che i pesci filmati siano effettivamente riusciti ad utilizzare il passaggio artificiale e a valicare la discontinuità.

6.2 *La soluzione proposta per la Diga di S. Anna*

6.2.1 POSIZIONAMENTO DELLE ATTREZZATURE

Nel caso in esame, in accordo con quanto indicato nel programma di lavoro, si propone di installare un sistema di monitoraggio provvisorio costituito da una **telecamera subacquea a raggi infrarossi** e un **notebook** (sul quale viene installato un software specifico per il monitoraggio) posto in un alloggiamento apposito.

La scelta della **telecamera subacquea** è dettata dall'assenza di una camera interrata per il monitoraggio, che consentirebbe di filmare attraverso l'apposita vetrata mediante una comune telecamera. La telecamera sarà installata in corrispondenza del primo setto di monte, in modo da filmare il transito dei pesci che abbiano effettivamente risalito l'intera struttura; essa si posiziona sul lato di valle del setto (in modo che sia protetta dal materiale trasportato dalla corrente) e viene orientata verso la fessura verticale. Compatibilmente con le condizioni di contorno è possibile installare una seconda telecamera sul medesimo setto, orientandola verso il foro di fondo: è stato infatti osservato il transito di ittiofauna anche attraverso lo stesso, sebbene esso serva principalmente a dissipare la turbolenza generata. In alternativa è possibile utilizzare un sola telecamera ed orientarla per un periodo verso la fessura laterale e per un periodo verso il foro di fondo.

Il **notebook** può essere alloggiato nel quadro di comandi già predisposto accanto al passaggio per pesci, oppure in un armadio dedicato da collocare in prossimità del quadro stesso. Nel primo caso deve essere verificata la disponibilità di spazio all'interno dell'armadio ed il grado di protezione dello stesso. Indipendentemente dal fatto che si utilizzi l'armadio esistente o che si fornisca una nuova struttura dedicata al monitoraggio, si ritiene che questa sia la posizione ottimale in quanto facilmente accessibile, già raggiunta dalla corrente elettrica e prossima all'estremità di monte del passaggio artificiale.

La presenza quotidiana del personale di sorveglianza dell'impianto rappresenta comunque un'ottima garanzia di riuscita dell'azione di monitoraggio, in quanto un controllo giornaliero della funzionalità del sistema scongiura "buchi" nelle videoregistrazioni dovuti a inconvenienti tecnici.

Figura 21. Posizionamento del sistema di monitoraggio subacqueo - PLANIMETRIA- SCALA 1 : 50



Figura 22. Posizionamento del sistema di monitoraggio subacqueo - PROSPETTO FRONTALE - SCALA 1 : 50

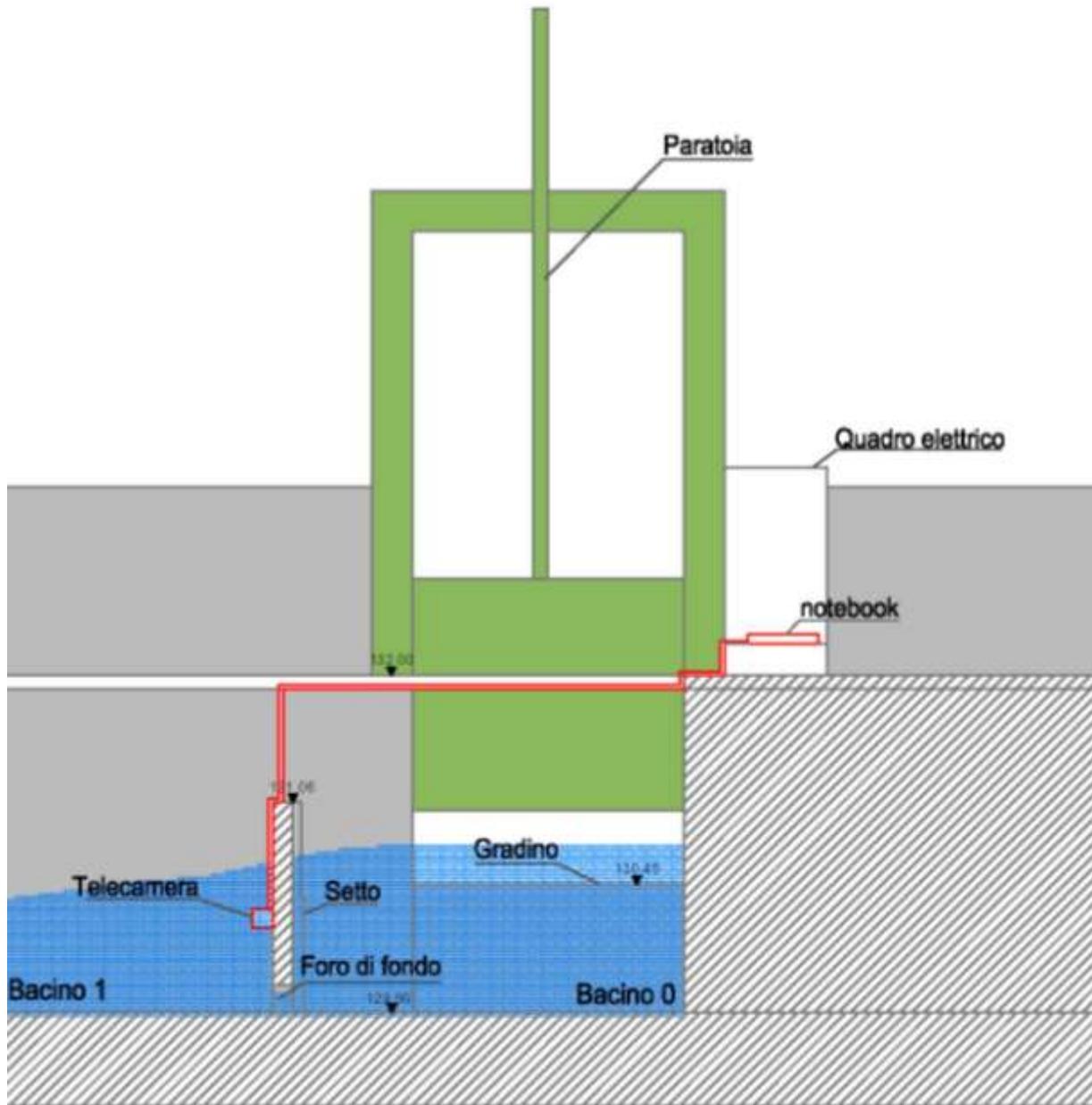


Figura 23. Fotografie del sito di intervento

FOTO 1 - ARMADIO METALLICO ESISTENTE



FOTO 2 - BACINO 0



FOTO 3 - SETTO TRA BACINO 0 E BACINO 1 - VISTA DA SINISTRA



FOTO 4 - SETTO TRA BACINO 0 E BACINO 1 - VISTA DA VALLE



FOTO 5 - SETTO TRA BACINO 0 E BACINO 1 - VISTA DA SOPRA



FOTO 6 - ANGOLO DI INQUADRATURA DELLE FOTOGRAFIE SCATTATE



6.2.2 CONVERSIONE DEL SISTEMA PROVVISORIO IN SISTEMA PERMANENTE

In corso d'opera si potrà decidere di rendere la struttura permanente, mettendo in atto alcuni accorgimenti che consentano di rendere il sistema sicuro e resistente anche in condizioni ambientali sfavorevoli.

I cavi devono essere alloggiati all'interno di canaline per esterno a norma di legge e la struttura di supporto della telecamera deve essere solida e in acciaio inossidabile. Non serve dotarla di un sistema di smontaggio, in quanto qualsiasi intervento di controllo, pulizia o manutenzione può essere facilmente effettuato mettendo in asciutta il passaggio artificiale.

All'interno dell'armadio deve essere installata una scaldiglia termostata, opportunamente dimensionata, che mantenga una temperatura adeguata al funzionamento del computer nella stagione fredda. Una valida alternativa è quella di alloggiare un PC nell'ufficio situato a circa 50 m dall'imbocco di monte del passaggio per pesci: tale soluzione non espone la strumentazione a variazioni di umidità e temperatura. Le due soluzioni proposte garantiscono (nell'ordine) maggiori garanzie di tutela della strumentazione, consentendo un monitoraggio progressivamente più slegato dalle condizioni ambientali avverse.

6.2.3 LE MODALITÀ DI RACCOLTA DEI DATI DEL VIDEOMONITORAGGIO

I dati vengono acquisiti attraverso raccolta periodica dei *file* presso il passaggio per pesci mediante l'utilizzo di un *hard disk* portatile. L'attività di campo prevede una fase di raccolta a cadenza (almeno) settimanale dei *file* video dal computer e dalla verifica del funzionamento di tutti gli apparati presenti. E' possibile che la raccolta dei filmati venga effettuata ogni due settimane, ma si raccomanda di sorvegliare il funzionamento degli strumenti quanto più frequente possibile, al fine di scongiurare perdita di dati causata da cali della tensione elettrica. A tal proposito è possibile installare anche un gruppo di continuità a protezione del computer.

Ciascun *file* deve essere visualizzato ed analizzato. I dati vengono in genere digitalizzati e organizzati in un database in M. Excel 2010, strutturato per l'elaborazione e l'interpretazione degli stessi: le informazioni significative di ogni transito osservato:

- data;
- ora;
- specie;
- numero di esemplari (nel caso di singola registrazione di un passaggio contemporaneo di più esemplari);
- stadio vitale;
- direzione di transito;
- Osservazioni eventuali.

Relativamente a queste informazioni ottenute risulta utile fornire alcuni chiarimenti in merito alle scelte adottate e al loro utilizzo. Per quanto riguarda la data e l'ora si utilizza la data e l'orario dell'evento di transito; la specie può essere identificata mediante intuizione diretta o dopo la consultazione di testi di riferimento (ad esempio Kottelat e Freyhof, 2007); il numero di esemplari è il numero di esemplari della stessa specie transitanti contemporaneamente; per lo stadio vitale degli esemplari possono istituirsi classi quali *giovane*, *subadulto* e *adulto* (va sottolineato che questa voce risulta difficilmente determinabile per i pesci di taglia inferiore). Nelle osservazioni si inseriscono tutte le informazioni aggiuntive che sono state rilevate e che possano aiutare la corretta interpretazione dei dati.

Figura 24. Esempari filmati mediante videomonitoraggio

TROTA FILMATA NEL PASSAGGIO PER PESCI DI PORTO DELLA TORRE, FIUME TICINO, SOMMA LOMBARDO (VA)



BARBI COMUNI FILMATI NEL PASSAGGIO PER PESCI DI PORTO DELLA TORRE, FIUME TICINO, SOMMA LOMBARDO (VA)



CARPA FILMATA NEL PASSAGGIO PER PESCI DI PORTO DELLA TORRE, FIUME TICINO, SOMMA LOMBARDO (VA)

