



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

Corso di Laurea in INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Dipartimento POLITECNICO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Tesi di Laurea

Il progetto dei passaggi per i pesci per il ripristino della sostenibilità ecologica
delle aste fluviali del torrente Slizza in Comune di Tarvisio

Relatore
Prof. Ing. Giorgio Verri

Laureando
Francesco Murri

Correlatore
Ing. Sara Freschi

A.A. 2016/2017

Here's to you Nicola and Bart

SOMMARIO

Il presente elaborato di tesi si sviluppa intorno al problema della tutela ecologica dei corsi d'acqua appartenenti al bacino idrografico del torrente Slizza situato all'estremità nord-orientale della regione Friuli Venezia Giulia; in particolare si propone di analizzare la soluzione adottata per il ripristino della continuità e della percorribilità fluviale per le comunità biologiche presenti in alveo con particolare riferimento alla trota fario, quale specie di riferimento, attraverso la progettazione di "corridoi ecologici", ovvero dei passaggi per pesci.

Anzitutto la problematica viene contestualizzata studiando la condizione attuale del bacino ovvero descrivendone i vari aspetti fisici, quindi idrografia, idrologia, ecc..., gli aspetti normativo-amministrativi, ma soprattutto confrontando la distribuzione delle discontinuità dovute alle opere di difesa idraulica trasversali ed alle opere di derivazione, in maggioranza ad usi idroelettrici, con la distribuzione e lo status delle comunità ittiche presenti.

Dopo aver individuato la specie target del progetto e le sezioni necessitanti mitigazione dell'impatto dovuto agli sbarramenti presenti in alveo, si procede al progetto di ripristino della continuità in ciascuna di esse attraverso il calcolo della portata di Deflusso Minimo Vitale ed il progetto dei passaggi per pesci. Entrambi questi calcoli non sono stati svolti in maniera univoca ma proponendo diverse soluzioni tra le quali, a valle di un confronto critico, si propone quella ottimale.

Tutte le tematiche affrontate nell'elaborato vengono inizialmente introdotte a livello teorico e su scala spaziale ampia, nazionale e comunitaria, per poi essere analizzate alla scala di bacino avvalendosi dei dati di base resi disponibili dagli enti specifici presenti in regione.

INDICE

Sommario	pag.1
Indice	pag.3
Introduzione	pag.7
1. La struttura idrografica del bacino del torrente Slizza.	pag.9
1.1. Descrizione generale del bacino idrografico	pag.9
1.2. Descrizione dei corsi d'acqua superficiali del bacino idrografico dello Slizza	pag.18
1.3. Descrizione dei laghi del bacino idrografico dello Slizza.	pag.20
1.4. Morfometria del bacino idrografico dello Slizza	pag.21
1.5. Tempo di corrivazione del bacino idrografico dello Slizza	pag.26
1.6. Parametri geomorfologici del bacino idrografico dello Slizza	pag.28
Appendice A - Aste del bacino idrografico del torrente Slizza, ordine ω di Horton– Strahler e loro lunghezza.	pag.32
Appendice B - Codice in Matlab per la determinazione delle grandezze morfometriche	pag.37
2. Le derivazioni idriche ad uso idroelettrico.	pag.38
2.1. Le derivazioni idriche.	pag.38
2.2. Derivazioni idriche ad usi energetici.	pag.43
2.2.1. L'energia idroelettrica	pag.43
2.2.2. Tipologie di impianti idroelettrici nel bacino idrografico del torrente Slizza	pag.49
2.2.3. Opere di una derivazione.	pag.50
2.2.3.1. Opere di sbarramento.	pag.51
2.2.3.2. Opere di presa.	pag.52
2.2.3.3. Opere di convogliamento.	pag.53
2.3. Impatto ambientale di una derivazione idrica	pag.53
2.4. Descrizione dei manufatti per le derivazioni nel bacino idrografico del torrente Slizza.	pag.55
Appendice C – Opere di presa ad uso idroelettrico realizzato nel bacino dello Slizza	pag.59
Appendice D - Censimento degli impianti idroelettrici presenti nel Tarvisiano realizzato incrociando i dati del catalogo IRDAT con quelli del Programma Interreg IV° Italia – Austria 2007-2013	pag.61
3. Le briglie di difesa idraulica delle aste fluviali.	pag.63
3.1. Il problema del dissesto idrogeologico.	pag.63
3.1.1. Aspetti generali del problema	pag.63
3.1.2. Interventi strutturali per la mitigazione del rischio idrogeologico nel bacino idrografico del torrente Slizza.	pag.65
3.2. Briglie chiuse di consolidamento	pag.68
3.3. Impatto ambientale di una briglia	pag.71
3.4. Le briglie di difesa nel bacino del torrente Slizza.	pag.73
4. Le caratteristiche idrologiche del bacino idrografico del torrente Slizza	pag.79
4.1. Elaborazione dei dati pluviometrici.	pag.79
4.1.1. Descrizione delle stazioni di misura.	pag.79
4.1.2. Determinazione delle serie cronologiche delle precipitazioni nel bacino idrografico del torrente Slizza.	pag.81
4.1.2.1. Elaborazione delle misure pluviometriche rilevate sul Valico di Fusine	pag.83
4.1.2.2. Elaborazione delle misure pluviometriche rilevate a Tarvisio.	pag.88
4.1.2.3. Elaborazione delle misure pluviometriche rilevate a Cave del Predil.	pag.96
4.2. Elaborazione dei dati di portata della stazione di Thörl.	pag.104
4.2.1. Descrizione della stazione di misura.	pag.104
4.2.2. Determinazione delle serie cronologiche delle portate del torrente Slizza chiuso a Thörl.	pag.106

4.2.3. Determinazione delle curve di durata delle portate del torrente Slizza chiuso a Thörl.	pag.112
4.2.4. Elaborazione statistica delle curve annue di durata delle portate del torrente Slizza chiuso a Thörl.	pag.118
4.3. Elaborazione dei dati di idrometrici e di portata della stazione di Tarvisio – Campo Sportivo.	pag.122
4.3.1. Descrizione delle stazioni di misura.	pag.122
4.3.2. Determinazione della scala delle portate dello Slizza chiuso a Tarvisio	pag.124
4.3.3. Similitudine idrologica tra i bacini di chiusi sulle sezioni di misura di Thörl e di Tarvisio Campo Sportivo	pag.128
Appendice E - Codice in Matlab per l'elaborazione statistica delle curve annue di durata delle portate nel torrente Slizza chiuso a Thörl.	pag.135
5. Le comunità ittiche presenti nel bacino idrografico del torrente Slizza.	pag.137
5.1. Indagine storica delle comunità ittiche del bacino idrografico del torrente Slizza.	pag.137
5.2. Indagine mediante campionamento.	pag.145
5.2.1. Elaborazione dei dati ittici di campionamento	pag.145
5.2.2. Elaborazione dei dati ittici di immissione per ripopolamento.	pag.157
5.3. Descrizione delle specie ittiche presenti nel bacino idrografico del torrente Slizza.	pag.167
5.3.1. La <i>Salmo [trutta] trutta</i> (trota fario).	pag.170
5.3.1.1. Habitat della trota fario.	pag.171
5.3.1.2. Biologia della trota fario.	pag.171
5.3.2. Il <i>Salvelinus alpinus</i> (salmerino alpino).	pag.174
5.3.2.1. Habitat del salmerino alpino	pag.175
5.3.2.2. Biologia del salmerino alpino.	pag.175
5.3.3. Il <i>Cottus gobio</i> (scazzone).	pag.176
5.3.3.1. Habitat dello scazzone.	pag.176
5.3.3.2. Biologia dello scazzone.	pag.176
Appendice F – Dati ittici dei campionamenti svolti nel bacino idrografico del torrente Slizza tra il 2010 e il 2016.	pag.178
Appendice G – Dati ittici delle immissioni svolte nel bacino idrografico del torrente Slizza tra il 2000 e il 2016 dall'ETPI del Friuli Venezia Giulia.	pag.181
6. Il calcolo del deflusso minimo vitale	pag.186
6.1. Il continuum fluviale (River Continuum Concept).	pag.186
6.2. Il concetto di Deflusso Minimo Vitale (DMV).	pag.190
6.2.1. Aspetti generali.	pag.190
6.2.2. Il quadro normativo.	pag.193
6.2.2.1. Quadro normativo Italiano.	pag.193
6.2.2.2. Quadro normativo della Regione Friuli Venezia Giulia.	pag.194
6.3. Approcci metodologici al calcolo del DMV.	pag.196
6.4. Metodi di calcolo del DMV.	pag.199
6.4.1. Il metodo Svizzero.	pag.199
6.4.2. Il metodo Montana.	pag.202
6.4.3. Il metodo del PRTA.	pag.204
6.4.4. Il metodo utilizzato dalla Repubblica francese.	pag.209
6.4.5. Il metodo utilizzato dalla Repubblica Federale di Germania.	pag.209
6.4.6. Il metodo utilizzato dal Regno di Spagna.	pag.210
6.4.7. I metodi utilizzati nel Regno Unito e nella Repubblica d'Irlanda.	pag.210
6.4.8. Altri metodi utilizzati in Europa.	pag.211
6.4.9. Alcuni metodi utilizzati al di fuori dell'Europa.	pag.211
6.4.10. Cenni sul metodo del MesoHABSIM	pag.212
6.5. Calcolo del DMV nelle aste del bacino idrografico del torrente Slizza.	pag.214
6.5.1. Selezione delle sezioni di calcolo.	pag.216

6.5.1.1. Opere di presa 495 sul torrente Slizza.	pag.216
6.5.1.2. Opere di presa 493 sul torrente Slizza.	pag.219
6.5.1.3. Opere di presa 921 rio Bianco.	pag.221
6.5.2. Calcolo del DMV col metodo Svizzero.	pag.223
6.5.2.1. Calcolo con periodo di osservazione 1975 ÷ 2010.	pag.223
6.5.2.2. Calcolo con periodo di osservazione 2001 ÷ 2010.	pag.224
6.5.3. Calcolo col metodo del PRTA.	pag.224
6.5.3.1. Calcolo con portata media stimata sul periodo di osservazione 1975 ÷ 2010.	pag.225
6.5.3.2. Calcolo con portata media stimata sul periodo di osservazione 2006 ÷ 2010.	pag.225
6.5.3.3. Calcolo con stima semplificata della portata.	pag.226
6.5.4. Confronto dei risultati	pag.228
7. Le tipologie di passaggi per pesci	pag.231
7.1. Il quadro normativo	pag.232
7.2. Aspetti biologici.	pag.234
7.2.1. Principali attività muscolari.	pag.234
7.2.2. Velocità di nuoto e resistenza.	pag.236
7.2.3. Distanza percorsa in relazione alla velocità di corrente.	pag.239
7.2.4. Capacità di salto.	pag.240
7.3. Aspetti idrologici.	pag.241
7.4. Localizzazione del passaggio per pesci.	pag.243
7.5. Scelta della tipologia di passaggio per pesci.	pag.246
7.5.1. Passaggi naturalistici (<i>close-to-nature passes</i>).	pag.246
7.5.1.1. Rampe o pendii in pietrame sull'intera larghezza dell'alveo (<i>bottom ramps and slopes</i>).	pag.247
7.5.1.2. Canali by-pass (<i>bypass channels</i>).	pag.250
7.5.1.3. Rampe per pesci su parziale larghezza dell'alveo (<i>fish ramp</i>).	pag.253
7.5.1.4. Dimensionamento dei passaggi naturalistici.	pag.256
7.5.1.4.1. Equazioni del moto su passaggio naturalistico.	pag.256
7.5.1.4.2. Equazioni delle soglie in massi.	pag.257
7.5.1.4.3. Calcolo della portata critica.	pag.258
7.5.2. Passaggi tecnici (<i>technical passes</i>).	pag.259
7.5.2.1. Passaggi a bacini successivi (<i>pool passes</i>).	pag.259
7.5.2.2. Passaggi a fenditure verticali (<i>vertical slot passes</i>).	pag.263
7.5.2.3. Passaggi di tipo Denil (<i>counter flow passes</i>)	pag.266
7.5.3. Passaggi Speciali.	pag.270
7.5.3.1. Chiuse per pesci (<i>fish locks</i>).	pag.271
7.5.3.2. Ascensori per pesci (<i>fish lifts</i>).	pag.273
8. Il progetto di sostenibilità ecologica.	pag.275
8.1. Considerazioni introduttive.	pag.275
8.2. Aspetti biologici del progetto.	pag.277
8.3. Calcolo della portata di progetto dei passaggi per pesci.	pag.278
8.4. Progetto del passaggio per pesci nella sezione 493.	pag.283
8.4.1. Dimensionamento della chiusa per pesci.	pag.289
8.4.2. Monitoraggio di efficienza del passaggio.	pag.297
8.4.3. Manutenzione del passaggio.	pag.301
8.4.4. Stima dei costi dell'intervento.	pag.302
8.5. Progetto del passaggio per pesci nella sezione 495.	pag.304
8.5.1. Dimensionamento della chiusa per pesci.	pag.306
8.5.2. Monitoraggio, manutenzione e stima dei costi dell'intervento.	pag.307
8.6. Progetto del passaggio per pesci nella sezione 921.	pag.310
8.6.1. Progetto del passaggio naturalistico nella sezione 921.	pag.312
8.6.1.1. Dimensionamento della <i>fish ramp</i> .	pag.315
8.6.1.2. Monitoraggio di efficienza del passaggio.	pag.321
8.6.1.3. Manutenzione del passaggio.	pag.323
8.6.1.4. Stima dei costi dell'intervento.	pag.323
8.6.2. Progetto di un passaggio tecnico nella sezione 921.	pag.325

8.6.2.1. Dimensionamento del passaggio a fenditure verticali.	pag.325
8.6.2.2. Monitoraggio di efficienza del passaggio.	pag.332
8.6.2.3. Manutenzione del passaggio.	pag.333
8.6.2.4. Stima dei costi dell'intervento	pag.334
8.6.3. Confronto delle soluzioni	pag.335
Appendice H. Codice in <i>Matlab</i> per la determinazione delle curve di frequenza della Q_{3d} .	pag.338
Conclusioni	pag.339
Ringraziamenti	
Bibliografia	

INTRODUZIONE

Nel corso della storia, premesso l'imprescindibile uso igienico e potabile, è possibile distinguere tre discordanti concezioni sull'acqua: da un lato essa è stata vista come risorsa fondamentale per lo sviluppo economico, dall'altro come un elemento dal quale difendersi durante gli eventi estremi ed infine come fonte primaria per l'esistenza di qualunque ecosistema.

Negli anni lo sviluppo dell'umanità, l'urbanizzazione ed i cambiamenti climatici, hanno interferito sempre di più col ciclo idrologico da cui dipende la qualità e la quantità di acqua disponibile causando direttamente e/o indirettamente effetti dannosi sui vari ecosistemi.

Il sorgere di queste problematiche ha causato negli ultimi anni un'importante inversione di tendenza sui temi ambientali, che, in ambito idrologico, ha portato alla definizione del concetto fondamentale di sostenibilità (Brundtland Commission - ONU, 1987) e quindi di gestione sostenibile delle risorse idriche; tema divenuto ormai elemento centrale delle politiche delle maggiori nazioni ed organizzazioni del mondo quali ad esempio ONU, FAO ed UE.

Dal punto di vista pratico la gestione sostenibile delle risorse idriche si basa essenzialmente su tre principi: il risparmio idrico, l'invarianza idraulica e la tutela ecologica dei corsi d'acqua.

Tra questi la tutela ecologica dei corsi d'acqua sarà oggetto specifico del presente elaborato; esso appartiene alla recente branca dell'eco-idrologia, la quale si dedica allo studio dell'interazione tra acqua ed ecosistemi.

Per definizione la tematica affrontata necessita di un approccio fortemente interdisciplinare che coinvolge le discipline dell'idraulica, l'idrologia, l'idrobiologia, l'ecologia, ecc...; approccio che viene richiesto nello studio sia delle problematiche che delle soluzioni progettuali.

Sicuramente il problema principale dal punto di vista ecologico è la frammentazione della continuità e della percorribilità fluviale così come definite nel *River Continuum Concept* che, anche nel bacino in esame, è causata direttamente e/o indirettamente dalla presenza delle derivazioni idriche e delle opere di sistemazione e di difesa trasversale dei torrenti. Queste opere, mediante la sottrazione di portata e/o la presenza di ostacolo non sormontabile, danneggiano la numerosità e la biodiversità delle comunità biologiche che, per esigenze di vita e di riproduzione, percorrono le aste fluviali.

Una gestione sostenibile, che riconosce l'ecosistema come importante valore da preservare, deve fare in modo che questi effetti dannosi siano mitigati, e proprio per tale scopo sono stati sviluppati i concetti di Deflusso Minimo Vitale (DMV) e dei corridoi ecologici; questo ha necessariamente portato alla riconsiderazione dei passaggi per pesci come unico intervento capace di realizzare una ittico/eco-compatibilizzazione, ossia di ripristinare la percorribilità attraverso ostacoli presenti in alveo e che negli ultimi decenni sono divenuti oggetto di un notevole sviluppo scientifico, normativo e di diffusione geografica.

Quanto appena descritto coinvolge naturalmente anche i bacini Italiani tra i quali è oggetto del presente elaborato quello del torrente Slizza, oggi facente parte del distretto idrografico delle Alpi Orientali e tributario del sistema idrografico danubiano.

Tale bacino, per una molteplicità di ragioni storiche, geografiche, idrologiche, geomorfologiche e topografiche, presenta un numero notevole di opere di derivazione ad uso idroelettrico e di difesa idraulica trasversale che nel corso degli anni hanno provocato una notevole frammentazione della continuità fluviale con conseguenti danni al suo patrimonio biologico in cui spicca la specie autoctona (di ceppo Danubiano) salmo [*trutta*] trutta.

Lo scopo della presente tesi è quello di procedere al ripristino della sostenibilità ecologica delle aste fluviali del suddetto bacino attraverso l'ittiocompatibilizzazione di alcuni importanti ostacoli in esso presenti mediante il progetto di passaggi per pesci.

In quanto progetto di ripristino, è anzitutto necessario conoscere le condizioni attuali in cui si trovano le aste fluviali; pertanto, andranno inizialmente analizzati tutti gli aspetti del bacino: idrografico, idrologico, geomorfologico e di distribuzione/caratterizzazione delle opere di sbarramento e di derivazione presenti ed ovviamente anche quelli di natura ecologica e biologica quali lo studio delle comunità ittiche presenti nel bacino, della loro valenza ed in particolare del loro comportamento migratorio e della loro distribuzione.

Per svolgere correttamente tale inquadramento è necessario avvalersi di rilievi idrologici quanto più possibile consistenti e di campionamenti ittici quanto più possibile numerosi e recenti; inoltre è importante conoscere i dati relativi alle immissioni ittiche eseguite al fine di poterne depurare /considerare il contributo sulla distribuzione delle specie; nel presente lavoro sono stati sfruttati dati forniti da diversi enti quali le Università di Udine e di Trieste, l'Ente Tutela Patrimonio Ittico (che sino al 31/12/2017 rispondeva al nome di Ente Tutela Pesca -ETP), la Regione FVG ed i Servizi idrografici regionale e Carinziano.

Dal confronto dei risultati dello studio ittico con la distribuzione delle opere è possibile individuare la specie, le aste ed i manufatti *target* dell'intervento di ripristino tra i quali diviene necessario definire le priorità quantificando l'impatto su ciascuna sezione considerandone gli aspetti biologici delle comunità presenti, idrografici dell'asta in questione ed ingegneristici delle opere presenti.

Individuate tre sezioni di intervento prioritario, due sul torrente Slizza e una sul rio Bianco, si procede al loro ripristino mediante progetto del corridoio ecologico che in copresenza ostacolo-sottrazione di portata, si basa sulle due operazioni già citate: calcolo della portata di DMV e progetto del passaggio per pesci. Come tutte le tematiche eco-idrologiche è implicita la presenza di molteplici aspetti da considerare il che comporta una forte eterogeneità di soluzioni; pertanto le scelte in fase di progetto sono svolte avvalendosi dei vincoli normativi, della principale manualistica scientifica relativa al settore e soprattutto valutando con estrema attenzione tutte le attività/condizioni specifiche del sito in cui si inserisce il corridoio. Infatti l'efficacia di un passaggio per pesci è spesso maggiormente dipendente da fattori apparentemente marginali quali il posizionamento, la manutenzione, l'etologia e l'ittio-meccanica della specie, ecc... che non dal dimensionamento idraulico.

Seguendo la logica appena descritta, l'elaborato è stato articolato come segue:

- il primo capitolo è specificatamente dedicato alla descrizione geografica, fisica, idrografica, morfometrica e geomorfologica del bacino in esame;
- il secondo capitolo è volto alla descrizione delle opere di derivazione idrica concentrandosi su quelle ad usi energetici. La descrizione della tecnologia idroelettrica sarà mirata a motivare la sua attuale presenza e gli sviluppi futuri nel bacino dello Slizza quindi per conoscere i manufatti ed il loro impatto ambientale sul territorio in esame;
- il terzo capitolo, segue la stessa logica del precedente, ma relativamente alle opere di difesa trasversali che nel bacino sono sostanzialmente identificabili con le briglie. La descrizione dei manufatti e del loro impatto ambientale viene impostata tenendo presente gestione del rischio idrogeologico del bacino in esame. Il capitolo si conclude descrivendo i casi in cui nel bacino dello Slizza tali opere sono state successivamente utilizzate per fini idroelettrici;
- il quarto capitolo è dedicato all'analisi idrologica del bacino dal punto di vista pluviometrico e delle portate. Per quanto riguarda l'analisi pluviometrica essa si concentra sullo studio delle serie storiche per individuare eventuali disomogeneità quantitative ed eventuali effetti dei cambiamenti climatici nel bacino; è stato adottato un modello semplificato composto dai tre pluviometri storici di Tarvisio del Predil e di Fusine appartenenti alla rete della rete di monitoraggio idrometeorologico gestita dall' Ufficio Idrografico della regione Friuli Venezia Giulia. L'analisi dei dati di portata invece è volta alla determinazione delle curve di durata; operazione che, è stata svolta riferendosi ai dati della vicina stazione Carinziana di Thörl. Svolta l'analisi è stato poi definito il criterio di similitudine idrologica con cui trasportare tali informazioni all'interno della porzione italiana del bacino e ne è stata testata l'applicabilità confrontandone i risultati con le sparse misure di portata disponibili;
- nel quinto capitolo si esegue la descrizione delle comunità ittiche presenti nel bacino al fine di selezionare la specie *target*. Lo studio si basa su un'indagine storica e una mediante campionamento; la prima è stata condotta sulla letteratura scientifica e la seconda sui rilievi ittici forniti dall'Università degli studi di Trieste che vengono confrontati con i contemporanei dati delle immissioni ittiche svolte dall'ETPI;
- il sesto capitolo è relativo al calcolo della portata di DMV nelle sezioni oggetto di ripristino. Il tema del DMV viene introdotto da un punto di vista ecologico, se ne descrive il quadro normativo Italiano e regionale e si procede alla definizione degli approcci metodologici dando una panoramica dei principali metodi teorici proposti nel mondo. Individuate le sezioni di ripristino, il calcolo per il progetto viene svolto con il metodo Svizzero e quello del PRITA, in entrambi i casi sfruttando la similitudine idrologica in rapporto alle aree su Thörl, per poi selezionare criticamente il valore di progetto;
- il penultimo capitolo è interamente dedicato alla descrizione generale dei passaggi per pesci quindi di tutti gli aspetti da considerare in fase di progetto e delle varie tipologie disponibili;
- nell'ultimo capitolo viene sviluppato il progetto dei passaggi per pesci nelle sezioni definite al capitolo 6; in ciascuna di esse, dopo aver descritto i manufatti presenti e le caratteristiche idrologico-idrauliche, geomorfologiche, biologiche ed anche paesaggistiche, ovvero le motivazioni che hanno portato alla loro selezione, si procede alla scelta tipologica più adatta, al suo dimensionamento ed a considerazioni sui costi e sulla manutenzione.

1. LA STRUTTURA IDROGRAFICA DEL BACINO DEL TORRENTE SLIZZA

In questo primo capitolo dell'elaborato di tesi si svolge una descrizione del bacino in esame. Di questo, dopo averne riassunto brevemente la situazione geografica, amministrativa ed alcune peculiarità geologiche-idrogeologiche, viene descritto accuratamente il sistema idrografico anche attraverso la classificazione gerarchica di Horton - Stralher. A valle della descrizione dei vari corpi idrici presenti viene svolta l'analisi morfometrica del bacino idrografico, il calcolo del tempo di corrivazione ed infine quello dei parametri geomorfologici di Horton.

1.1. Descrizione generale del bacino idrografico.

Il bacino idrografico del torrente Slizza è un bacino internazionale che, con la nascita dei distretti idrografici italiani voluti dall'Unione Europea per la gestione delle acque e del rischio alluvioni, (sancita in Italia attraverso il Decreto del Ministro dell'Ambiente 25 ottobre 2016 pubblicato in G.U. n. 27 del 2.2.2017) appartiene al Distretto idrografico delle Alpi Orientali (che nel proseguo verrà abbreviato con l'acronimo AO) e la cui gestione (in quanto bacino regionale per L. 183/89), è stata in passato affidata all'Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia e, dopo la sua soppressione nel 2012, al Servizio di difesa del suolo ed a quello geologico della Direzione centrale ambiente ed energia della Regione stessa.

Tale bacino (Fig.1-1) è situato nell'estrema area Nord-Orientale della regione Friuli Venezia Giulia ed è delimitato ad ovest, lungo lo spartiacque idrologico, dal bacino idrografico del Tagliamento mentre ad est ed a nord rispettivamente dai confini nazionali con la Repubblica di Slovenia e con il Land Austriaco della Carinzia che è il territorio in cui proseguirà il suo corso.

Così definito esso si estende su territorio Italiano per una superficie di circa 180 km² che per il 90% insiste nel territorio del comune di Tarvisio, mentre il restante 10% in quelli di Malborghetto Valbruna e di Chiusaforte.

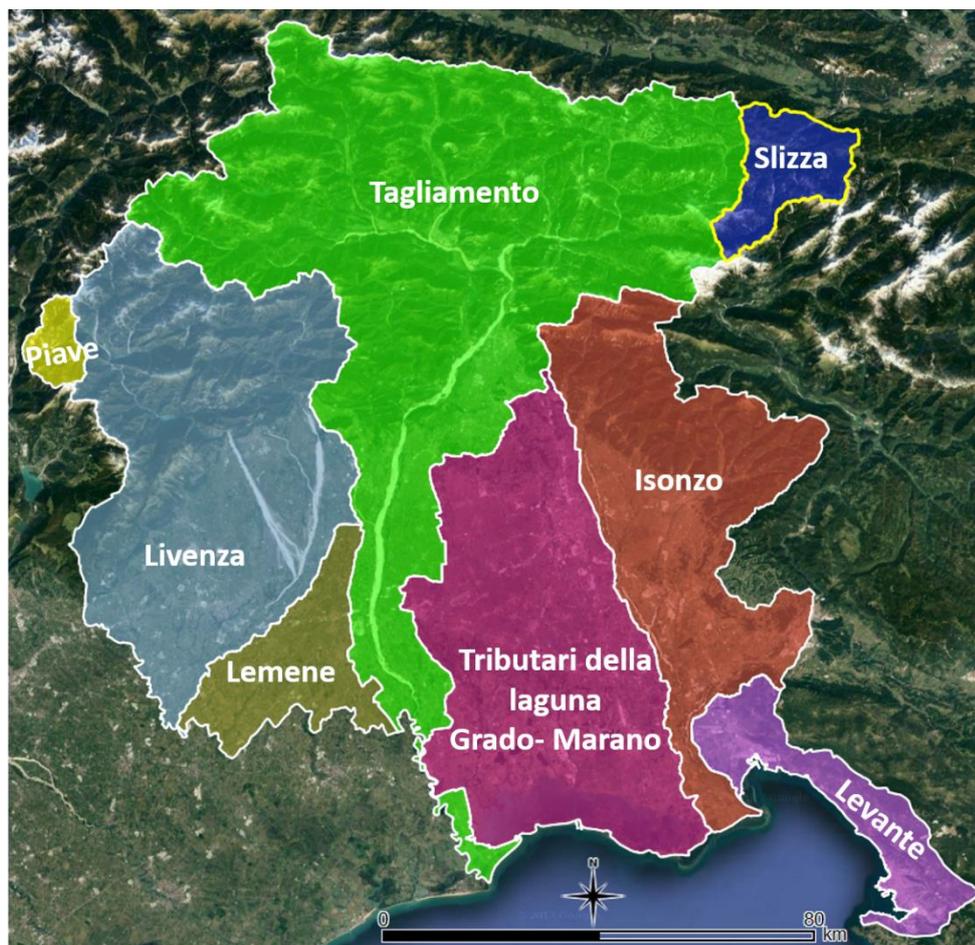


Fig.1-1: Bacini idrografici amministrativi delimitati dall'Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave e Brenta-Bacchiglione nel territorio della regione Friuli Venezia Giulia.

Il bacino dello Slizza quindi si sviluppa interamente su un territorio fortemente montuoso che precisamente ricade nelle unità orografiche, intese come regioni aventi la propria individualità geografica e geologica definite da Marinelli nel 1888, della *Catena Paleocarnica* e delle *Alpi Giulie* (Fig.1-2).

Le peculiarità di tale ambiente sono:

- scarsa antropizzazione e di conseguenza elevata naturalità nella maggior parte del territorio fatta eccezione per i fondo-valle in cui l'impatto antropico è più elevato a causa della presenza degli abitati di Tarvisio e delle relative frazioni che contavano 4273 abitanti al 31-12-2016;
- presenza di numerosi rilievi, in prevalenza calcareo dolomitici (Carulli, 1989) come ad esempio quelli della catena Jôf Fuârt - Montasio (con quote delle cime comprese tra i 1790 ed i 2755 m s.l.m.) o quella del Monte Canin (2572 m s.l.m.) e del Mangart (2.668 m s.l.m.). Questo comporta inevitabilmente l'esistenza di pendenze del terreno spesso elevate ed anche presenza di neve e ghiaccio persistenti nei mesi invernali;
- presenza di numerose e ricche sorgenti (*Piano di Assetto Idrogeologico Regionale - PAIR, 2016*) (Fig.1-3);
- presenza di intensa e persistente attività endogena (Poli, 2015) che implica l'esistenza lungo i piani di faglia di rocce con caratteristiche meccaniche assai scadenti poiché minutamente fratturate dette cataclasi la cui definitiva perdita di coesione avviene poi a causa degli agenti esogeni quali gelo-disgelo, piogge, ecc....

Si origina quindi una grande quantità di materiale sciolto granulometricamente molto vario, da sabbia fine a massi ciclopici, (Fig.1-4) che andrà spesso a comporre il fondo mobile dei corsi d'acqua.



Fig.1-2: Unità orografiche della regione Friuli Venezia Giulia (Carulli, 2006).

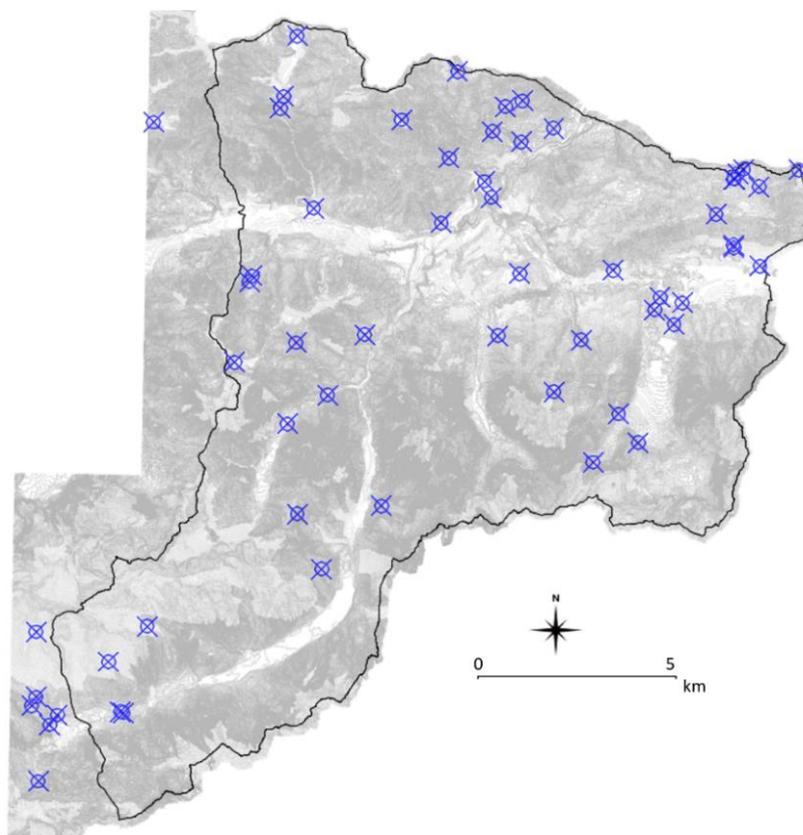


Fig.1-3: Sorgenti perenni (punti in blu) presenti nel bacino dello Slizza (da CTRN 1:5000, fuori scala).



Fig.1-4: Variabilità granulometrica del materiale sciolto nell'alveo del torrente Slizza circa 4 km a monte del centro abitato di Tarvisio.

Tutti questi fattori fanno sì che il bacino sia caratterizzato da:

- presenza di un reticolo idrografico molto fitto (Fig.1-5) con pattern dendritico e le cui aste sono prevalentemente a carattere torrentizio ossia con:
 - o bacino imbrifero di estensione relativamente piccola;
 - o pendenza del fondo elevata, ovvero corrente supercritica;
 - o portate modeste con magre con portata nulla ma rapidamente variabili anche sino a piene con picchi elevati ma di durata breve;
 - o trasporto solido elevato.

Proprio l'elevata attività di erosione-deposito conferirà allo Slizza uno sviluppo ricco di anse e di insenature.

- presenza di numerose sorgenti tra le quali è di particolare interesse quella tra i laghi superiore ed inferiore di Fusine dove l'acqua del rio del Lago si infiltra totalmente per poi riemergere come sorgente sotto-forma di polla (Fig.1-6) o come tutte le altre venute d'acqua (Fig.1-7) che costeggiano il medesimo Rio garantendone sempre un deflusso ricco anche in periodi non piovosi.
A queste si aggiungono anche quelle legate ai fenomeni di carsismo alpino di cui l'esempio principale è quello del Mt. Canin in cui l'acqua circola in numerose grotte costituite da pozzi (pozzo-cascata), collegate da gallerie a forra, alte e strette, con percorso planimetrico spesso meandriforme per infine riemergere come sorgenti (Gasparo, 1982) (Fig.1-8).
- presenza di laghi alpini quali quelli di superiore ed inferiore di Fusine e del Predil (o di Raibl) (Fig.1-5).

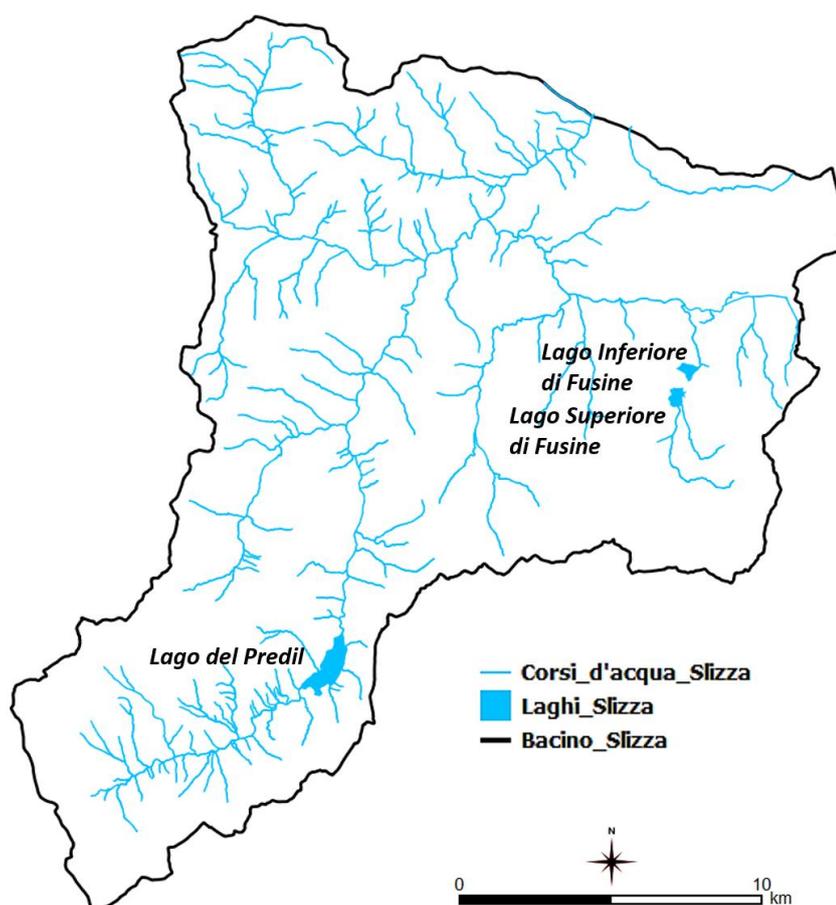


Fig.1-5: Reticolo idrografico del bacino del torrente Slizza.

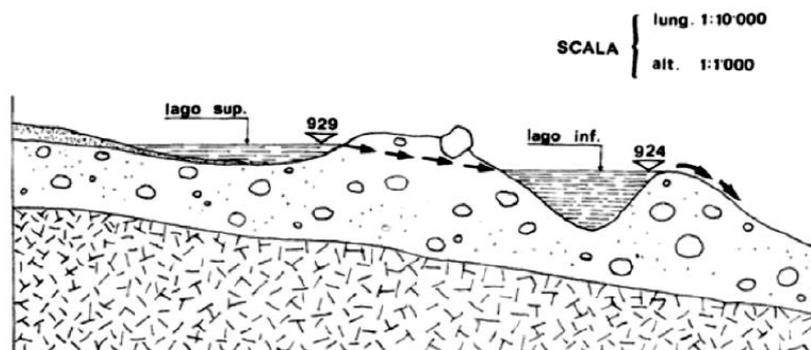


Fig.1-6: Sezione idrogeologica schematica dei Laghi di Fusine.



Fig.1-7: Venuta d'acqua di natura sorgentizia che alimenta il Rio del Lago.



Fig.1-8: Sezione schematica di una sorgente tubolare (da Abramson,2002).

È evidente che la sovrapposizione di queste caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrauliche del bacino con l'aggiunta di quelle climatiche e della loro variabilità spatio-temporale definisce anche quelle che sono le criticità/problematiche del bacino che sono anche le cause degli eventi di dissesto idrogeologico osservati negli anni passati.

Queste problematiche sono diffuse in tutto il bacino ed in relazione ai corsi d'acqua si identificano in:

- eventi di piena tipici dei bacini di torrenti aventi quindi tempi di corrivazione brevi ed elevata impulsività;
Questi possono verificarsi sia per cause ordinarie quali precipitazioni sia per cause straordinarie quali lo scioglimento delle nevi, l'occlusione dei corsi d'acqua per movimenti franosi o sismi;
- trasporto solido intenso e quindi possibili variazioni della morfologia del corso d'acqua causata ad esempio dall'erosione al piede delle sponde o sovralluvionamenti e alla quale possono seguire eventi di piena o innesco di frane e/o di debris - flow;
- debris - flow che, per quanto detto in precedenza, possono coinvolgere portate solide e massi di dimensioni elevate.

Solamente a scopo di descrizione del bacino e rimandando ai capitoli successivi per una descrizione più dettagliata si accenna che per la difesa da tali fenomeni sono state realizzate opere di sistemazione sia di tipo intensivo che estensivo che si presentano quindi anch'esse in maniera diffusa nel bacino.

Alle problematiche precedenti è possibile aggiungere un'altra specifica del bacino dello Slizza, questa volta legata a fattori economico-sociali, ossia:

- incremento della richiesta di portate per usi idroelettrici che comporta la riduzione delle portate fluenti nei corsi d'acqua e la realizzazione di tutti gli appositi manufatti. Anche in questo caso si rimanda ai capitoli successivi per la descrizione dettagliata.

Ovviamente tutte queste problematiche si sviluppano anche in un quadro di cambiamenti climatici con conseguente variazione dei regimi di temperature, precipitazioni e quindi portate.

Dunque è in questo contesto che si sviluppa la presente tesi, che in un'ottica di gestione sostenibile delle risorse idriche vuole garantire che affianco alla sottrazione di portate e alla realizzazione dei vari manufatti, qualunque sia il loro scopo, sia garantita anche la tutela ecologica del corso d'acqua.

Lasciando al successivo paragrafo una descrizione quantitativa più dettagliata del reticolo idrografico e dei vari corpi idrici del bacino si precisa che quello dello Slizza prende il nome dall'omonimo torrente che ne è l'asta principale del reticolo e che nasce con la confluenza del rio del Lago e del rio Freddo (Fig.1-9), entrambi provenienti da Sud-Sud/Ovest dalla catena del Jôf Fuârt – Montasio (che definisce anche la linea di spartiacque tra i due bacini) rispettivamente in destra e sinistra idrografica attraversando le frazioni di Cave del Predil e di Rio Freddo.

Sul torrente Slizza si immette per primo in sinistra idrografica, a livello del centro abitato di Tarvisio, il canale Bartolo che ha origine sui rilievi di confine e sul quale, a valle della frazione di Camporosso, confluisce il rio Lussari, proveniente da sud dall'omonimo monte.

Più a valle in destra idrografica confluisce nel torrente Slizza il rio Bianco.

Quest'ultimo drena nello Slizza tutte le acque della conca di Fusine in quanto su di esso confluisce il rio del Lago di Fusine che a sua volta raccoglie anche le acque del Rio Vaisonz che ne è affluente in destra idrografica e del Rio Nero che invece ne è affluente in sinistra.

Infine nuovamente da sinistra idrografica, in corrispondenza della frazione di Coccau di sopra, si immette nello Slizza il canale dei Carri che risulta l'ultimo importante affluente in territorio italiano.

Uno strumento molto utile per la comprensione del bacino imbrifero e del suo reticolo idrografico è il diagramma di Stecher il quale descrive il progressivo aumento dell'area sottesa, specificando se in sinistra o in destra idrografica, dalle aste principali del reticolo.

Per quanto riguarda il bacino in esame, con riferimento ai dati in tabella (Tab.1.1-I) si ottiene il diagramma riportato in figura (Fig.1-11) dove si precisa che sono stati considerati i soli affluenti principali e come sezione di chiusura quella carinziana di Thörl che verrà ampiamente descritta nel quarto capitolo dell'elaborato.

Come si nota dalle figure precedentemente citate (Fig.1-5 e Fig.1-9), oltre alle aste suddette, il reticolo conta un gran numero di aste "minori" che scendono lungo i versanti dei rilievi per confluire sui corsi

d'acqua principali; questi drenano portate molto scarse soprattutto nel lato destro nel quale le pendenze elevate non consentono lo sviluppo di veri e propri corsi d'acqua ma solo di ruscellamenti superficiali (PAIR, 2016).

Tab.1.1-I: Lunghezze ed aree sottese dei tratti delle aste componenti il diagramma di Stecher per il bacino del torrente Slizza.

Tratto	Inizio tratto	Fine tratto	L [km]	A _{sx} [km ²]	A _{dx} [km ²]
r. del Lago (Raibl)*	sorgente	Lago Raibl	8.38	19.8	15.43
r. del Lago (Raibl)*	Lago	r. Freddo	5.175	5.94	7.42
r. Freddo (Raibl)	sorgente	r. del Lago	6.2	9.96	5.86
t. Slizza*	nascita	c. Bartolo	4.9	4.6	4.31
c. Bartolo	sorgente	t. Casarenza	10.5	9.73	18.61
t. Slizza*	c. Bartolo	r. Bianco	2.125	1.78	3.04
r. Bianco	sorgente	t. Slizza	11.55	9.99	53.22
t. Slizza*	r. Bianco	c. Carri	0.93	0.18	0.25
c. Carri	sorgente	t. Slizza	4.9	6.18	2.61
t. Slizza*	c. Carri	confine stato	2.945	5.23	2.79
t. Slizza*	confine	Thörl	0.745	0.54	0.18

* i tratti appartenenti all'asta principale del reticolo

N.B: nella descrizione di inizio/fine tratto è sottointeso il termine *confluenza*

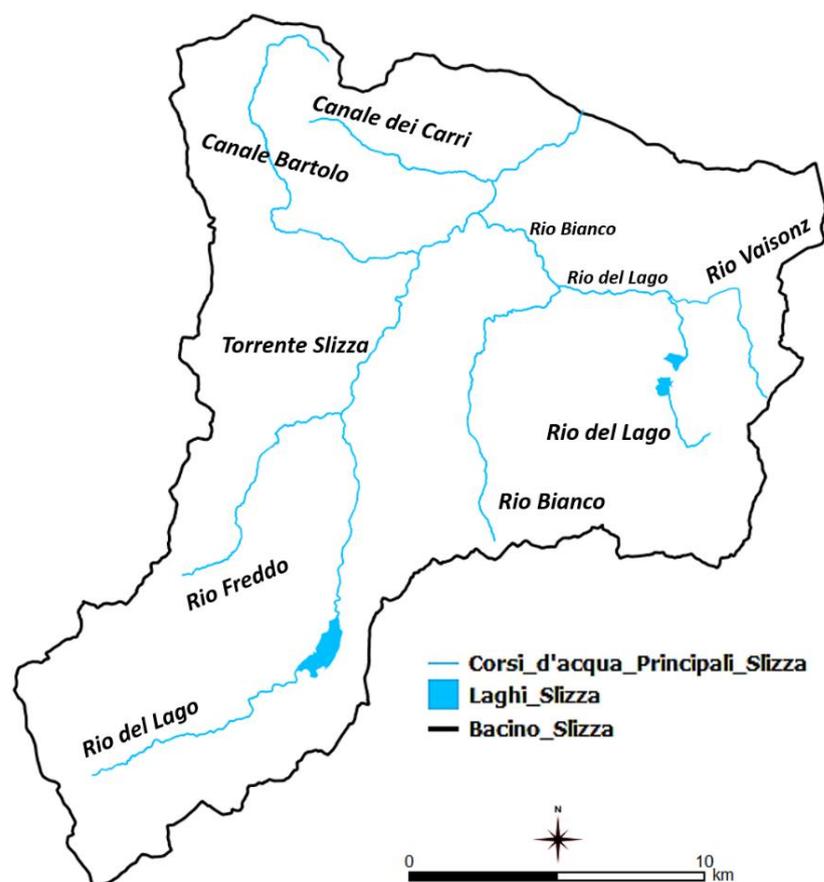


Fig.1-9: Corsi d'acqua principali del bacino idrografico dello Slizza.

Come già accennato il bacino dello Slizza è un bacino idrografico internazionale in quanto il torrente è appartenente al reticolo idrografico del Danubio, di cui perciò è un sottobacino, e quindi tributario del Mar Nero.

Lungo il suo percorso sino al Mar Nero le acque drenate dal bacino dello Slizza percorreranno circa 2366 km bagnando 9 Stati.

Più in dettaglio; dopo l'immissione del canale dei Carri il torrente Slizza attraversa il confine Italiano lungo la forra di Coccau ed entrando in territorio Austriaco confluisce dapprima in destra idrografica nel Gail in località Arnoldstein; chiuso in quella sezione il bacino dello Slizza raggiunge la sua massima estensione di circa 214 km².

Il Gail è un corso d'acqua che nasce nelle Alpi Carniche del Tirolo orientale, scorre interamente in territorio Austriaco per 122,2 km sottendendo un bacino di 1414 km² ed è il principale affluente della Drava su cui si immette sempre in destra idrografica nel comune di Villach (Fig1-11).

La Drava nasce in Italia presso la Sella di Dobbiaco, la sua lunghezza è di circa 750 km e l'area massima del bacino sotteso di circa 40000 km²; questo fiume attraversa gli stati dell'Austria e della Slovenia per raggiungere la Croazia finché ad est della località di Osijek si immette sempre in destra nel Danubio proveniente da Nord dall'Ungheria.

Da questa confluenza il Danubio bagnerà ancora Serbia, Romania, Bulgaria, Moldavia ed Ucraina prima di sfociare nel Mar Nero.

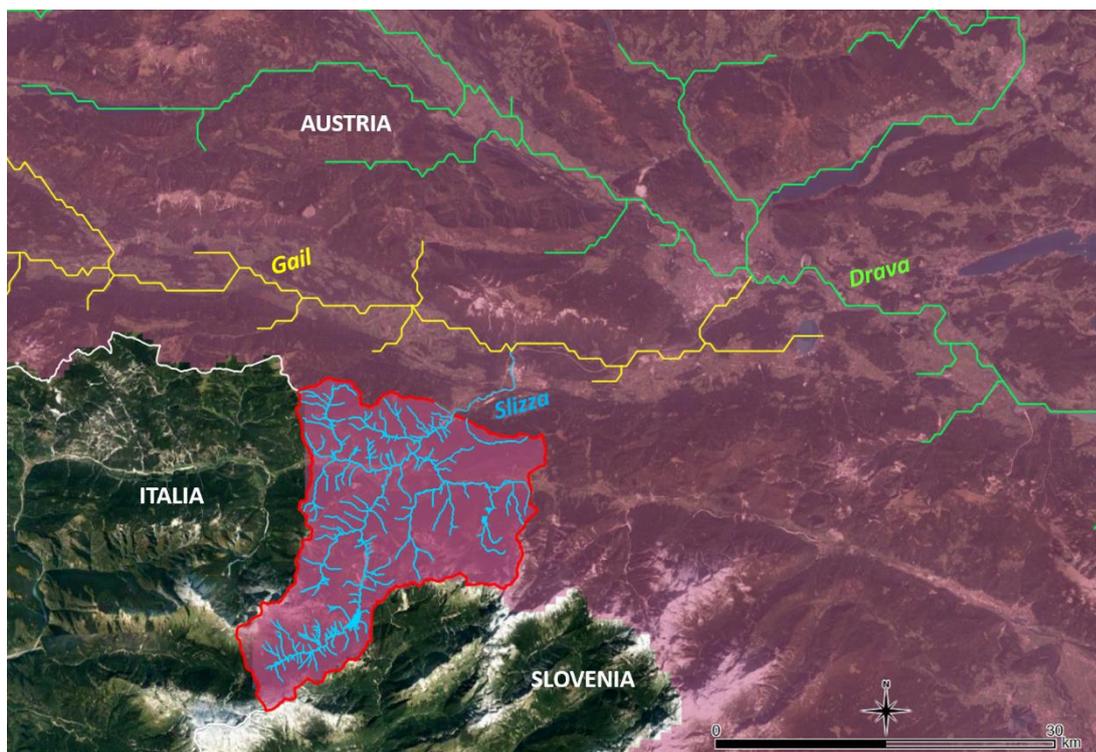


Fig.1-11: Bacino idrografico del Danubio – Particolare del sottobacino del torrente Slizza

Concluso l'inquadramento generale è possibile ora eseguire una descrizione più dettagliata dei singoli componenti del bacino del torrente Slizza.

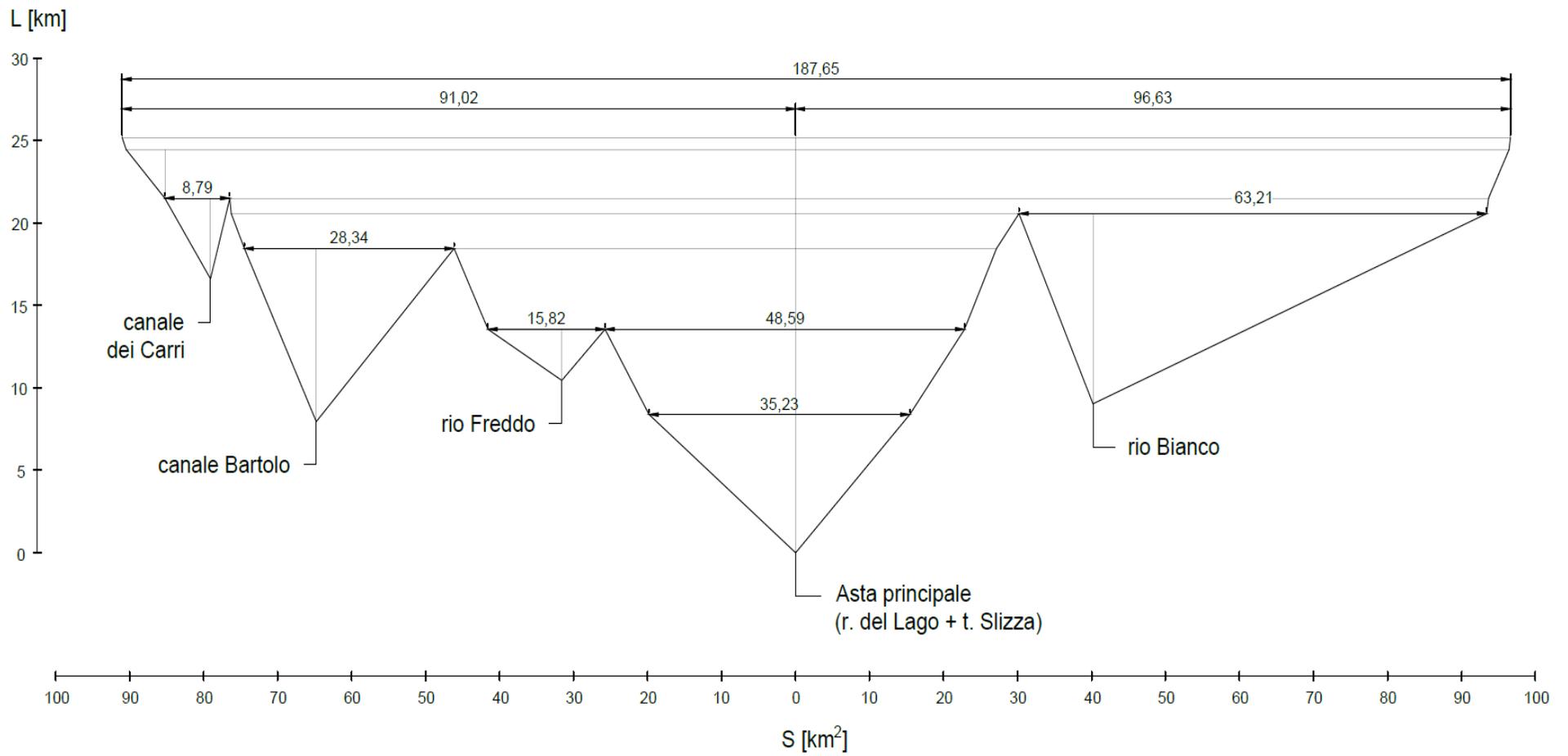


Fig.1-10: Diagramma di Stecher per il bacino del torrente Slizza chiuso a Thörl.

1.2. Descrizione dei corsi d'acqua superficiali del bacino idrografico dello Slizza.

Si riporta in allegato (Appendice A) la tabella completa degli attributi di tutti i corsi d'acqua superficiali del bacino dello Slizza; in questa, oltre alle informazioni di base relative alle varie aste, sono anticipate anche la classificazione di Horton – Strahler che verrà descritta nel paragrafo 1.7 e quella del Piano Regionale di Tutela Acque (PRTA) che verrà descritta nel paragrafo 6.4.3.

Una loro prima descrizione è già presente nel paragrafo precedente nel quale si era fatta la distinzione tra i corsi d'acqua principali (riportati in Fig.1-9) e minori; a tal proposito si precisa che per corsi d'acqua principali erano intesi *quelli naturali con bacino idrografico superiore a 10 km² e i principali corsi d'acqua artificiali*.

Si sottolinea l'importanza di questa classificazione per il presente elaborato poiché, ai sensi dell'art.43, c.3 della L.R. 11/2015 (ora abrogato), si limitavano le nuove concessioni ad uso idroelettrico soli bacini imbriferi superiori ai 10 km² quindi relativi alle sole aste principali del reticolo.

Si riportano in tabella seguente le caratteristiche dei soli corsi d'acqua principali (Tab.1.2-I).

Tab.1.2-I: Caratteristiche dei corsi principali del bacino idrografico dello Slizza

Codice_FVG	Natura	Nome	L [km]	A [km]
SL04001	Rio	Lago	13.40	57.64
SL04002	Rio	Bianco	11.20	62.68
SL04003	Canale	Bartolo	10.86	28.65
SL04004	Rio	Freddo	1.36	15.66
SL03001	Torrente	Slizza	11.02	192.87
SL04006	Canale	Carri	5.03	8.78
SL05015	Rio	Vaisonz	9.46	38.20

Con la stessa logica una distinzione ancora più fine può essere fatta sulla base della natura del corso d'acqua che ad esempio può essere fiume, torrente, rio, scolo, roggia, canale (Fig.1-12); come si nota dalla figura appena citata è elevato il numero (precisamente 134) di aste classificate come Rii minori indicati in viola ossia dei corsi d'acqua di piccole dimensioni la cui origine è esclusivamente dovuta al ruscellamento superficiale delle precipitazioni e che pertanto sono fortemente intermittenti.

Per quanto appena detto si è ritenuto non necessario riportare queste aste minori nell'appendice sovraccitata essendo oviamente tutti corsi d'acqua superficiali del primo ordine.

Ai sensi della Direttiva 2000-60-CE (Direttiva Quadro sulle Acque), in base ai parametri di classificazione richiesti si può affermare che tutti i corsi d'acqua presenti nel bacino:

- ricadono nell'eco-regione, ovvero una regione che presenta al suo interno una limitata variabilità per le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche, *alpina*. Questo stando alla zonazione proposta dalla norma stessa e riportata in figura seguente (Fig.1-13) mentre più precisamente ricade nella regione *Prealpi e Dolomiti* stando alla zonazione proposta dal CEMAGREF (*Centre National du Machinism Agricole, du Genie Rural, des Eaux et des Forets*);
- risultano avere altitudine medio-alta in quanto al di sopra dei 200 m s.l.m.;
- risultano sottendere bacini di dimensioni medio-piccole in quanto sempre inferiori a 1000 km²;
- scorrono su composizioni geologiche prevalentemente calcaree.

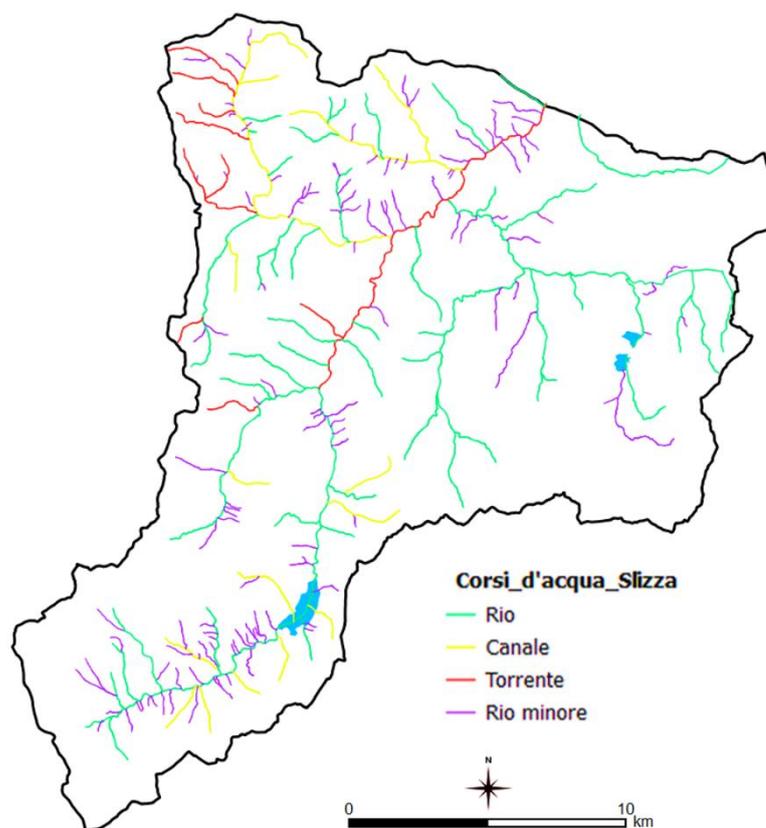


Fig.1-12: Bacino idrografico dello Slizza – natura dei corsi d’acqua.

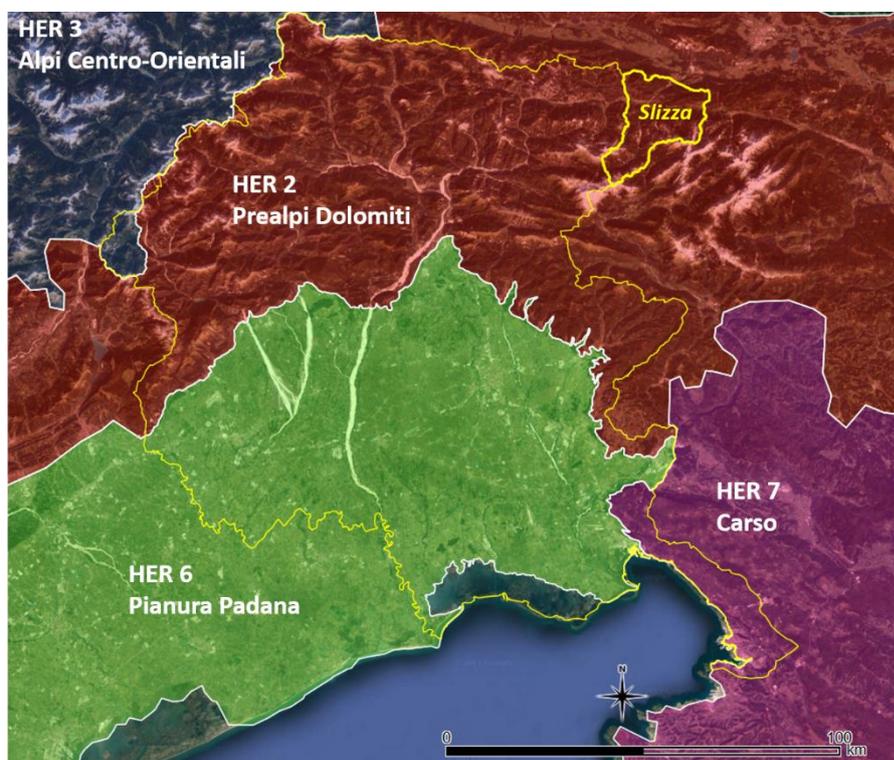


Fig.1-13: Ecoregioni definite dalla Direttiva acque e dal CEMAGREF

Ricordando che tutti i corsi d'acqua presenti nel bacino sono naturali e che le attività antropiche sono limitate quasi esclusivamente ai fondo-valle è ragionevole limitare ai soli corsi principali la possibilità di essere “fortemente modificati”, ovvero secondo la direttiva 2000-60-CE “...un corpo idrico superficiale la cui natura, a seguito di alterazioni fisiche dovute a un'attività umana, è sostanzialmente modificata, come risulta dalla designazione fattane dallo Stato membro...”.

Secondo l'Autorità di bacino tale condizione si riscontra esclusivamente nei seguenti tratti (Fig.1-14):

- gli ultimi 1549 m circa percorsi dal canale Bartolo prima di confluire nello Slizza. In questo tratto il corso d'acqua attraversa il centro urbano di Tarvisio;
- il tratto di circa 5285 m del rio del Lago a valle del lago del Predil dove infatti viene attraversata la frazione di Cave del Predil;
- gli ultimi 688 m circa percorsi dal torrente Slizza prima di oltrepassare il confine nazionale.

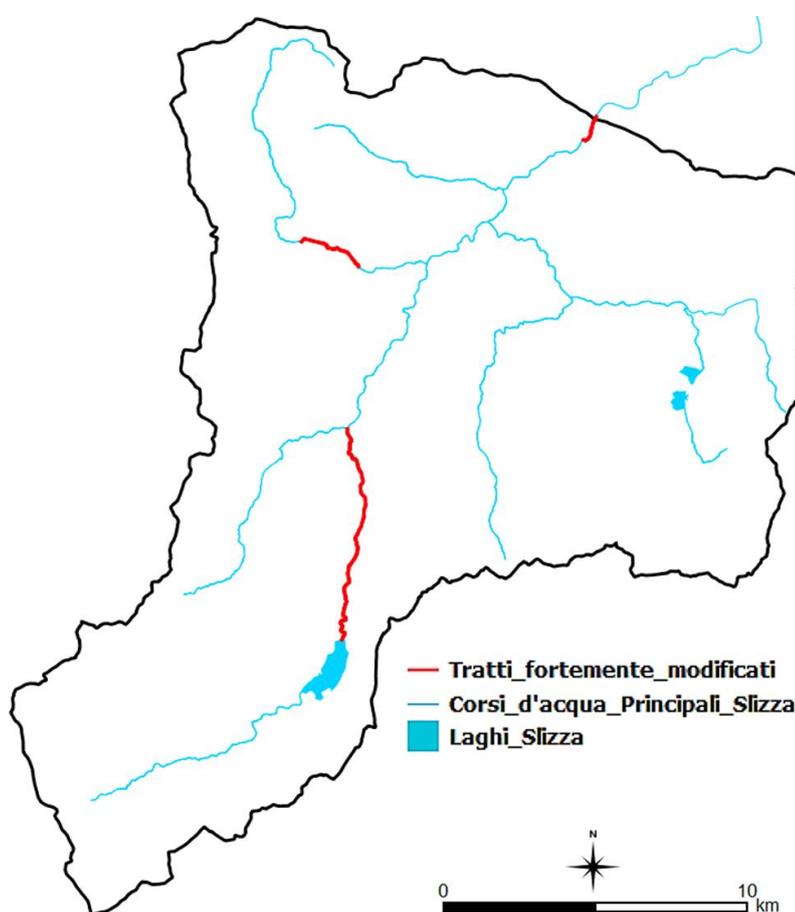


Fig.1-14: Bacino idrografico dello Slizza – tratti dei corsi d'acqua fortemente modificati.

1.3. Descrizione dei laghi del bacino idrografico dello Slizza.

Anche i laghi, che la direttiva definisce in maniera rigorosa come *quei corpi idrici superficiali interni e fermi*, presenti nel bacino del torrente Slizza sono stati già introdotti nel paragrafo 1.1 (si veda figura Fig.1-5).

Questi sono tutti laghi alpini ricadenti nell'omonima eco-regione, naturali, poco profondi e calcarei di origine glaciale e di elevato valore paesaggistico ambientale.

L'impatto antropico su di essi è ridotto e possono quindi considerarsi come elementi non a rischio dalle autorità di bacino.

Se ne riassumono le caratteristiche principali in tabella seguente (Tab.1.3-I):

Tab.1.3-I: Caratteristiche principali dei laghi del bacino dello Slizza

Nome	Cod_Lago	A [km ²]	Q _{max} [m s.l.m.]	y _{max} [m]*	y _m [m]**
Lago Inferiore di Fusine	FSI	0.11	924	23	15
Lago Superiore di Fusine	FSS	0.13	930	27	15
Lago del Predil (Raibl)	PRD	0.61	965	27	15
* è la profondità massima calcolata nel punto più depresso a partire dal livello medio dello specchio d'acqua					
** è la profondità media è ottenuta come volume del lago/invaso diviso per la superficie					

1.4. Morfometria del bacino idrografico dello Slizza

Noti i limiti del bacino idrografico del torrente Slizza sotteso dalla sezione di confine con la Carinzia è possibile determinarne gli elementi caratteristici che ne completano la descrizione morfometrica. Si anticipa che per fare ciò si è fatto uso dei seguenti elementi:

- CTRN 1:5000 vettoriale;
- DTM della protezione civile con passo 1m.

Gli elementi cartografici utilizzati sono tali da definire un quadro unione che contenga l'intero bacino idrografico.

I primi parametri, di immediata determinazione dalla cartografia, sono:

- o L'area del bacino: $A = 180 \text{ km}^2$;
- o La lunghezza dell'asta principale (calcolata dalla sorgente del rio del Lago): $L = 24.42 \text{ km}$

Noti questi due parametri si può calcolare:

- o La larghezza del bacino rettangolare equivalente, ossia il rapporto A/L .
Questo per avere un primo parametro quantitativo che consente di esprimere la forma e l'impulsività del bacino che ovviamente sarà tanto più impulsivo quanto più questo rapporto è piccolo. Nel caso in esame risulta:

$$A/L = 7.4 \text{ km}$$

Per la determinazione delle successive proprietà si è preferito lavorare, anziché sulla cartografia vettoriale, sul DTM raster con celle di $1 \times 1 \text{ m}^2$ del bacino ottenuto estraendo i dati relativi alla maschera del bacino da quelli messi a disposizione dalla protezione civile (Fig.1-15).

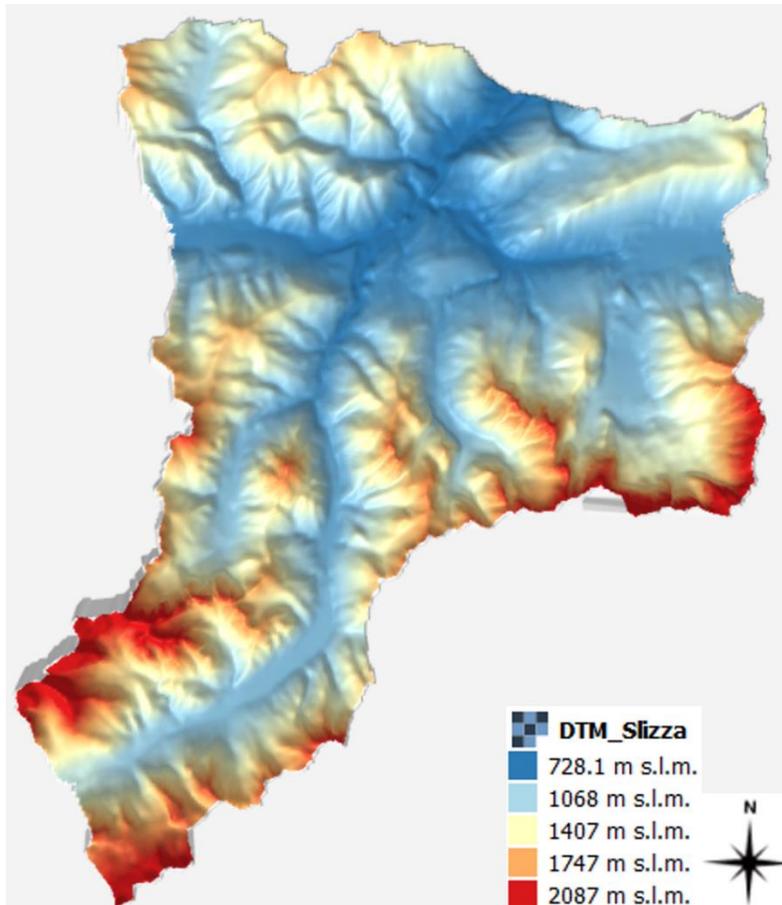


Fig.1-15: DTM del bacino dello Slizza – piano base a 600 m s.l.m.

Analiticamente il DTM grid in questione è una matrice i cui elementi rientranti nella maschera del bacino sono valori che rappresentano la quota costante della cella di 1 m² mentre al di fuori della maschera possiedono la quota -9999 che è il valore convenzionalmente adottato per le celle prive di valore.

Nota l'altimetria del bacino si calcolano:

- La quota media del bacino:

$$H_m = \frac{1}{A} \int_A H dA$$

Dove H è la quota dell'elemento d'area infinitesimo dA appartenente al bacino d'area A .

Che nel caso discreto del DTM diventa:

$$H_m = \frac{1}{A} \int_A H dA \cong \frac{1}{A} \sum_i H_i A_i \rightarrow H_m = 1236 \text{ m s.l.m.}$$

Dove:

- H_i [m s.l.m.] è la quota della cella i -esima;
 - A_i [m²] è l'area della cella i -esima.
- La curva ipsometrica del bacino idrografico, ossia quel diagramma che esprime il legame tra la quota e l'area della porzione di bacino che si trova al di sopra di essa (Fig.1-16), divenendo quindi uno strumento di valutazione della ripidità del bacino idrografico.

Per definizione essa è costituita dalle coppie:

$$(Z, A(Z)) \text{ con } A(Z) = \int_A dA(H \geq Z)$$

Dove $dA(H \geq Z)$ è l'elemento d'area posto che si trova ad una quota H non inferiore a valore Z fissato

Che nel caso discreto del DTM diventa:

$$(Z, A(Z)) \text{ con } A(Z) = \sum_i A_i(H_i \geq Z)$$

Dove $A_i(H_i \geq Z)$ è l'area della cella i -esima, che si ricorda essere costante pari ad 1, posta a quota H_i non inferiore a fissato valore Z

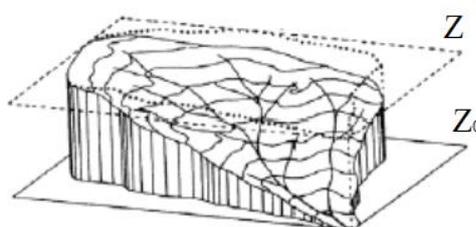


Fig.1-16: Schema della determinazione della curva ipsometrica.

Nel caso in esame la curva è stata costruita determinandone 51 punti partendo dalla quota minima H_{min} pari a 604.26 m s.l.m. ed incrementando progressivamente di $\Delta = 41,5$ m fino alla quota massima H_{max} pari a 2677.5 m s.l.m.

Si ottiene la curva seguente (Fig.1-17):

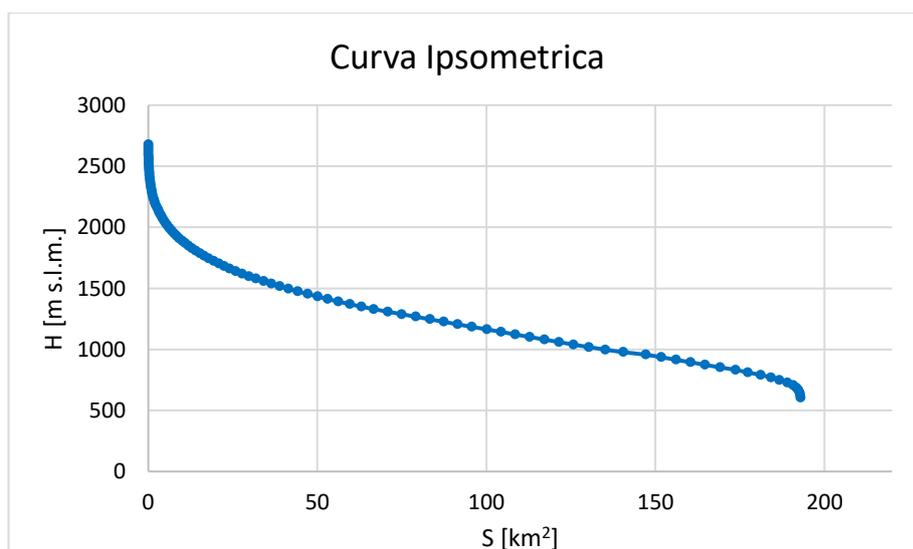


Fig.1-17: Curva ipsometrica del bacino dello Slizza

Nel caso specifico le quote notevoli e la curva ipsometrica sono state ricavate in *Matlab* mediante il codice riportato in allegato (Appendice B).

Un altro diagramma utile per descrivere l'altimetria del bacino è quello della distribuzione delle aree su determinate fasce di quota; esso è di immediata determinazione a partire dalla curva ipsometrica qualora

si considerassero come intervalli di quota quelli definiti dalle coppie di punti della curva stessa (Fig.1-18). Come si nota dalla figura la distribuzione è asimmetrica a destra con picco tra i 930 ÷ 980 m s.l.m.; questo conferma quanto già intuibile nella curva ipsometrica e nel valore di quota media, ossia che la maggioranza d'area si colloca nella porzione medio bassa del bacino.

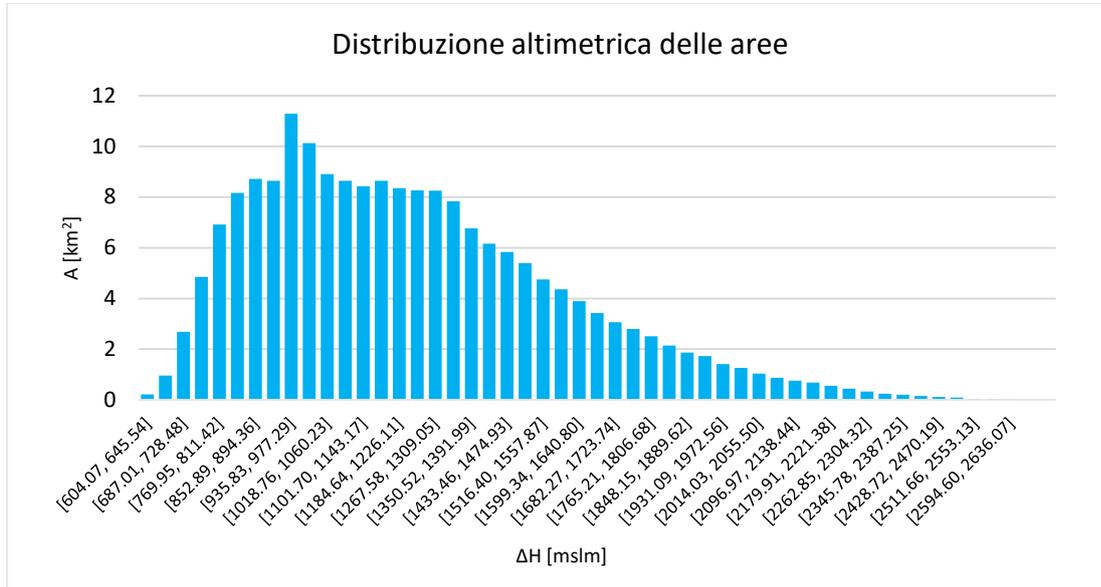


Fig.1-18: Distribuzione altimetrica delle aree del bacino dello Slizza

- Pendenza media del bacino:

$$S_m = \frac{1}{A} \int_A S dA$$

Dove S è la pendenza dell'elemento d'area infinitesimo dA appartenente al bacino d'area A .

Che nel caso discreto del DTM diventa:

$$S_m = \frac{1}{A} \int_A H dA \cong \frac{1}{A} \sum_i S_i A_i$$

Dove:

- S_i [m s.l.m.] è la pendenza della cella i -esima;
- A_i [m²] è l'area della cella i -esima.

Per conoscere le pendenze S è necessario realizzare la carta delle pendenze la quale permette di conoscere la pendenza di ciascuna cella del DTM grid. Nel caso in esame è stato utilizzato il Neighbourhood Method o Metodo dell'intorno (Horn, 1981) che è già implementato nelle *Analisi DEM* di *QGIS*. questo consiste nel considerare una finestra mobile di celle 3x3 (Fig.1-19) che percorrerà l'intera matrice del DTM

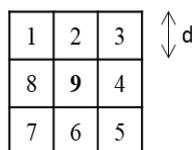


Fig.1-19: Finestra mobile 3x3

E con riferimento alla numerazione delle celle proposta in figura il metodo calcola la pendenza S_{slope} della cella centrale della finestra note le differenze pesate delle quote z delle celle circostanti e la dimensione d della cella come segue:

$$S_{slope} = 100 \cdot \sqrt{S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2}$$

Dove:

$$S_{e-w} = \frac{(z_3 + 2z_4 + z_5) - (z_1 + 2z_2 + z_7)}{4 \cdot 2d}$$

$$S_{n-s} = \frac{(z_1 + 2z_2 + z_3) - (z_7 + 2z_6 + z_5)}{4 \cdot 2d}$$

Le pendenze delle varie celle possono poi essere interpolate nei punti intermedi ma nel caso in esame si sono lasciati i valori discreti.

L'implementazione del suddetto metodo porta ad ottenere la seguente carta delle pendenze (Fig.1-20).

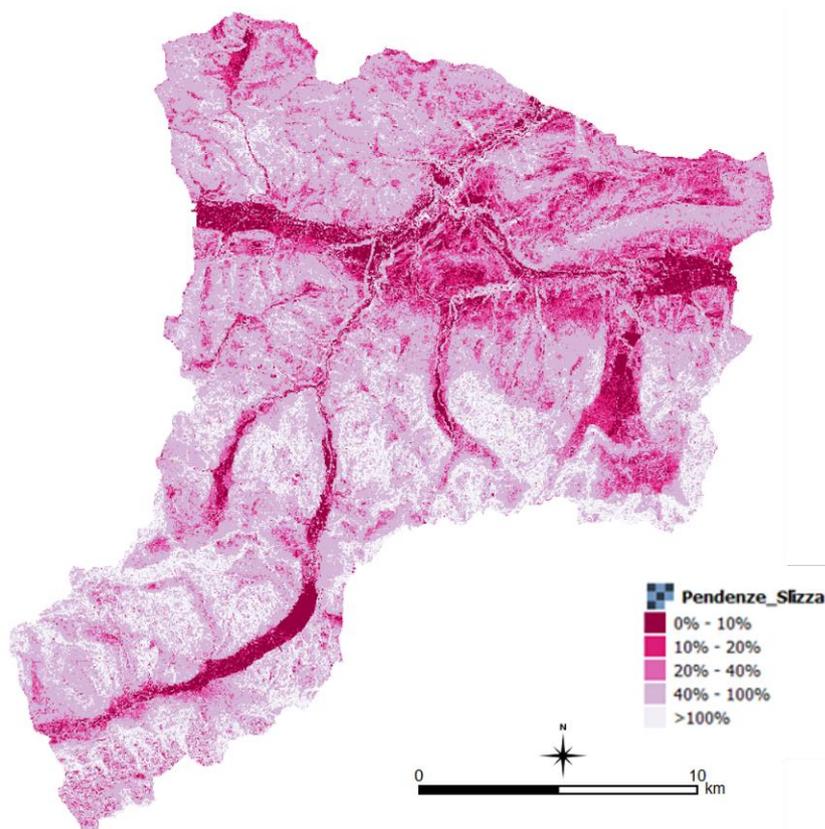


Fig.1-20: Carta delle pendenze (senza interpolazioni) 2D del bacino idrografico dello Slizza.

La carta conferma quanto detto ad inizio capitolo in quanto la natura montuosa del bacino fa sì che questo sia caratterizzato da forti contrasti di pendenza tra i valori relativamente bassi nei fondi – valle in cui scorrono i corsi d'acqua principali ed i valori elevatissimi in corrispondenza dei rilievi circostanti in cui nascono e scorrono le aste di ordine minore.

Quindi, mentre dalla carta si notano bene gli alvei dei corsi d'acqua principali, proprio l'elevata diffusione, sostanzialmente omogenea in tutto il bacino, di versanti ad alta pendenza porta allo sviluppo delle numerose aste minori, intermittenti e di ordine 1 che caratterizzano il reticolo idrografico del torrente Slizza.

Nota la carta delle pendenze si calcola la pendenza media del bacino ottenendo quanto segue:

$$S_m = \frac{1}{A} \sum_i S_i A_i = 74.76 \%$$

Inoltre, come fatto in precedenza per le aree, è possibile costruire a partire dalla carta appena ricavata il diagramma di distribuzione delle pendenze (Fig.1-21) che riporta l'area delle porzioni di bacino comprese in determinati intervalli di pendenza.

La figura evidenzia nuovamente un'asimmetria a destra dove per comodità la suddivisione si è interrotta al 200 %, ossia circa 63° con un picco tra 60 ÷ 70 %, una decrescita molto rapida per valori superiori al picco e comunque aliquote non trascurabili anche per le basse pendenze.

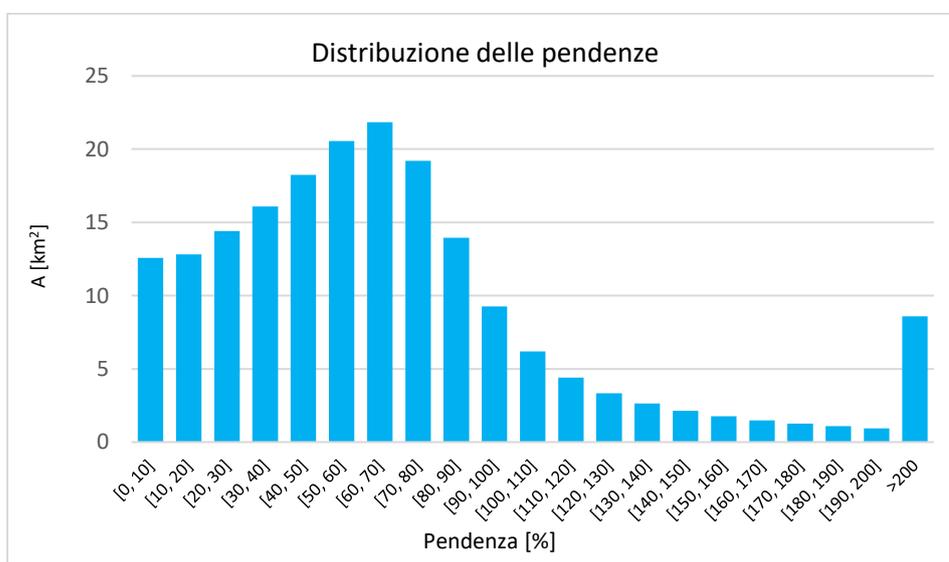


Fig.1-21: Distribuzione delle pendenze del bacino dello Slizza

È bene sottolineare che l'algoritmo per il calcolo della carta delle pendenze non è univoco tuttavia nel caso in esame si è appurato che anche usando l'altro metodo disponibile in *QGIS* (Zevenbergen & Thorne, 1987) non si ottengono differenze superiori al 10% su singola cella.

1.5. Tempo di corrivazione del bacino idrografico dello Slizza

Note le proprietà morfometriche del bacino è possibile stimare un parametro idrologico molto importante qual è il tempo di corrivazione o di concentrazione del bacino.

Esso è definito come il tempo che impiega una goccia che cade nel punto idraulicamente più lontano, ossia per il quale il percorso sino alla sezione di chiusura è massimo, del bacino a raggiungere la sezione di chiusura del bacino stesso.

Dalla definizione è evidente che questo parametro è strettamente legato alle caratteristiche morfologiche del bacino ed è fondamentale per conoscere l'impulsività del bacino.

Nel caso in esame il tempo di corrivazione è stato calcolato mediante la formula di Giandotti -Visentini (1934) per la quale:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{H}}$$

Dove:

- A è l'area del bacino espressa in km^2 ;
- L è la lunghezza dell'asta principale espressa in km ;
- H è la quota media del bacino relativamente alla sezione di chiusura (che si è verificato avere la quota minima di 604 m s.l.m.) espressa in m; ossia:

$$H = H_m - H_{min} = 632 \text{ m}$$

- T_c si ottiene espresso in ore.

Si sottolinea che tale formula è di origine sperimentale ed è stata ricavata su bacini di medie dimensioni con area compresa tra 170 e 70.000 km^2 (Grimaldi et al., 2010); per cui è consigliato che la sua applicazione sia limitata a bacini di dimensioni non troppo diverse da quelle per cui è stata determinata. Nel caso in esame il bacino sotteso al confine di Stato è di circa 180 km^2 per cui si ricade in tale intervallo sebbene in prossimità del limite inferiore; applicando la formula si ottiene:

$$T_c \cong 4.5 \text{ h}$$

Per quanto appena detto, è evidente che la stima del tempo di corrivazione sarà sempre pregna di incertezza e non univoca, per cui a scopo di confronto si è calcolata ancora la grandezza con altre relazioni molto usate nella pratica quali:

- Formula di Kirpich (1940), sviluppata per piccoli bacini rurali del Tennessee con area compresa tra 1 e 112 acri cioè al massimo 0.45 km^2 . Visto il campo di applicabilità ci si aspettano risultati molto differenti da quelli ottenuti.

$$T_c = 0.000325 \cdot L^{0.77} \cdot S_m^{-0.385}$$

Dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale espressa in m;
- S_m è la pendenza media del bacino in valore assoluto;
- T_c si ottiene espresso in ore.

Si ottiene:

$$T_c \cong 0.87 \text{ h}$$

Come ci si aspettava la stima è molto discorde da quella eseguita con Giandotti.

- Formula di Viparelli (1961÷1963):

$$T_c = \frac{L}{3.6 \cdot V} \quad \text{con } V = (1 \div 1.5) \text{ m/s}$$

Dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale espressa in km ;
- V è la velocità media della corrente in m/s il cui range di variabilità è fornito dall'autore;
- T_c si ottiene espresso in ore;

Per il range di variabilità delle velocità si ottiene:

$$T_c \cong (4.5 \div 6.8) \text{ h}$$

Sebbene ancora diversi rispetto ai precedenti i risultati si avvicinano al tempo calcolato con la formula di Giandotti col quale vi è concordanza per il valore più elevato di velocità, cosa che si può ritenere non assurda vista la natura supercritica e torrentizia delle aste del bacino.

Oltre a quelle sopra citate sono presenti in letteratura numerose altre relazioni per la stima del tempo di corrivazione di cui comunque, senza considerare il risultato di Kirpich, si ha già un range ampio di variabilità.

1.6. Parametri geomorfologici del bacino idrografico dello Slizza.

In aggiunta ai parametri appena determinati al fine di completare la descrizione del bacino è molto importante ricavare anche i suoi parametri geomorfologici (o di Horton-Strahler).

Questi parametri vennero definiti da Horton nel 1933 con lo scopo di descrivere quantitativamente la geomorfologia di un generico bacino idrografico e, come varie teorie dimostrano, essi sono intimamente legati alla risposta del bacino.

Le precedenti affermazioni trovano logica giustificazione nel fatto che la geomorfologia è una caratteristica intrinseca del bacino che si è definita negli anni proprio a seguito delle varie risposte del bacino ai vari eventi pluviometrici; ne segue quindi che, a meno di alcuni fattori climatici, anche la risposta del bacino è una caratteristica intrinseca dello stesso.

Per ricavare questi parametri è necessario adottare la nomenclatura o classificazione gerarchica dei reticoli idrografici proposta da Horton (1933) e modificata da Strahler (1952), secondo la quale il reticolo idrografico viene schematizzato come una rete di tronchi e nodi a ciascuno dei quali corrisponde un preciso numero intero detto *ordine*.

Nella realizzazione del reticolo ciascun tronco è un segmento che:

- nasce da sorgente e termina in un nodo;
- nasce e termina in due nodi;
- nasce in un nodo e termina nella sezione di chiusura.

L'ordine di ciascun nodo viene assegnato applicando le seguenti regole:

- un tronco che nasce da una sorgente ha ordine 1;
- un tronco di ordine n ed un tronco di ordine $m < n$ unendosi originano un tronco di ordine n ;
- due tronchi di ordine n , unendosi, originano un tronco di ordine $n+1$.

Assegnato l'ordine a tutti i tronchi resta definito l'ordine del bacino Ω che coinciderà con quello del tronco che termina sulla sezione di chiusura.

Per quanto riguarda i parametri geomorfologici essi sono stati definiti con le tre leggi di Horton:

- 1) prima legge di Horton (dei numeri dei corsi d'acqua): Il rapporto tra il numero N_ω dei tronchi di ordine ω e quello di ordine $\omega+1$ è circa costante e prende il nome di *Rapporto di Biforcazione* R_B :

$$R_B = \frac{N_\omega}{N_{\omega+1}} \quad \text{con } 3 \leq R_B \leq 5$$

- 2) seconda legge di Horton (delle lunghezze dei corsi d'acqua): Il rapporto tra la lunghezza media \bar{L}_ω dei tronchi di ordine ω e quello di ordine $\omega-1$ è circa costante e prende il nome di *Rapporto delle lunghezze* R_L :

$$R_L = \frac{\bar{L}_\omega}{\bar{L}_{\omega-1}} \quad \text{con } 1.5 \leq R_L \leq 3.5$$

- 3) terza legge di Horton (delle aree): Il rapporto tra la l'area media \bar{A}_ω dei tronchi di ordine ω e quello di ordine $\omega-1$ è circa costante e prende il nome di *Rapporto delle aree* R_A :

$$R_A = \frac{\bar{A}_\omega}{\bar{A}_{\omega-1}} \quad \text{con } 3 \leq R_A \leq 6$$

La nomenclatura gerarchica del bacino idrografico dello Slizza è stata eseguita senza trascurare nessuno dei rami (Fig.1-22); questa restituisce un ordine del bacino Ω pari a 5 mentre in tabella seguente (Tab.1.6-I) si riportano le grandezze relative a ciascun ordine dei tronchi ottenute attraverso i software:

- *QGIS* per quanto riguarda il numero d'ordine e la misura delle lunghezze dei vari tronchi;
- *AutoCad* per quanto riguarda il tracciamento dei sottobacini e la misura delle loro aree. In particolare quest'ultima operazione è stata svolta sulla CTRN 1:5000 adottando le classiche regole per il suo tracciamento:
 - passaggio per cime elevate;
 - attraversamento delle selle;
 - direzione coerente con la concavità/convessità delle isoipse;

Il numero d'ordine e le lunghezze dei tronchi sono riportate in allegato (Appendice A).

Tab.1.6-I: Numero, lunghezza media ed area media relative a ciascun ordine di tronchi.

ω	N_ω	\bar{L}_ω [km]	\bar{A}_ω [km ²]
1	197	0.81	0.62
2	36	1.46	3.27
3	7	2.20	14.80
4	3	6.05	33.98
5	1	6.11	192.87

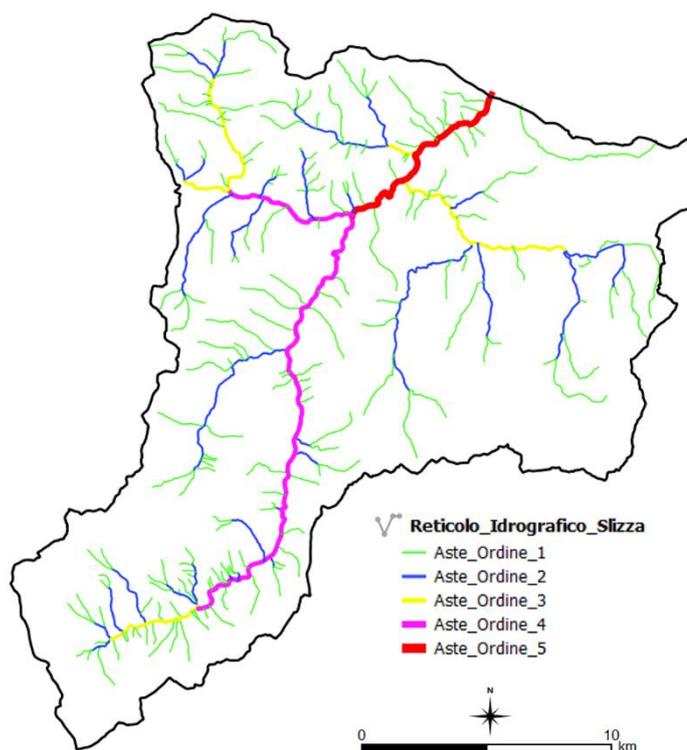


Fig.1-22: Classificazione gerarchica di Horton-Strahler del bacino idrografico dello Slizza.

Ovviamente i rapporti di Horton assumerebbero diversi valori a seconda della coppia di ordini considerata, il metodo più semplice per calcolare il valore unico dei parametri geomorfologici si ha associando alle leggi di Horton quella delle potenze.

Infatti si nota che in scala logaritmica ciascuna grandezza (N , L ed A) varia in maniera praticamente lineare in funzione dell'ordine ω ; la stessa dipendenza è quindi esponenziale in scala naturale.

Sfruttando le leggi suddette si dimostra che il valore costante del coefficiente angolare non è altro che il relativo parametro di Horton poiché valgono:

$$R_B^n = N_\omega / N_{\omega+n}$$

$$R_L^n = \bar{L}_\omega / \bar{L}_{\omega-n}$$

$$R_A^n = \bar{A}_\omega / \bar{A}_{\omega-n}$$

Si riportano quindi i diagrammi di Horton per ciascuna grandezza (Fig.1-23, Fig.1-24 e Fig.1-25) da cui si ricavano i valori dei parametri geomorfologici caratteristici del Bacino riportati in tabella seguente (Tab.1.6-II).

Tab.1.6-II: Parametri geomorfologici di Horton-Strahler del reticolo idrografico del torrente Slizza

R_B	R_L	R_A
3.69	1.73	3.99

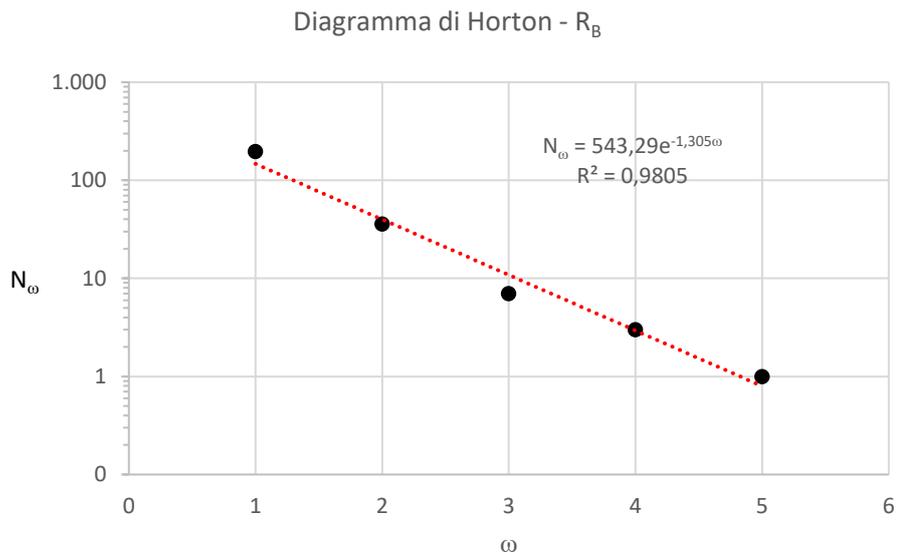


Fig.1-23: Diagramma di Horton per il rapporto di biforcazione.

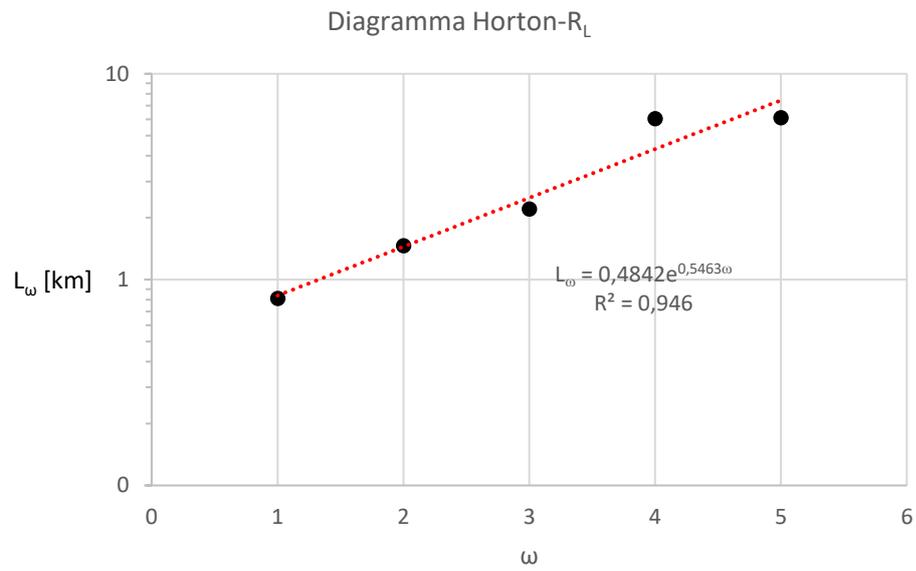


Fig.1-24: Diagramma di Horton per il rapporto delle lunghezze

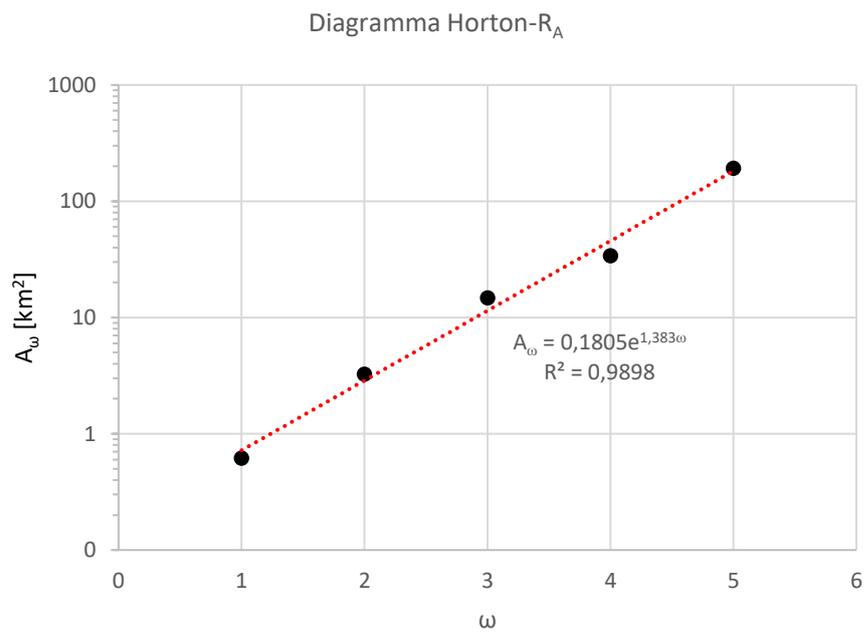


Fig.1-25: Diagramma di Horton per il rapporto delle aree.

Appendice A - Aste del bacino idrografico del torrente Slizza, ordine ω di Horton – Strahler e loro lunghezza.

Cod_FVG	Natura ⁽⁰⁾	Nome	Nome_CTR	Tipologia⁽¹⁾	Caratteristiche⁽²⁾	Principale⁽³⁾	ordine ω⁽⁴⁾	L [km]	Classe PRTA⁽⁵⁾
SL03001	Torrente	Slizza	Torrente Slizza	1	Sup.le	S	5	6.1	Tratto di fondovalle
SL04003	Canale	Bartolo	canale Bartolo	1	Sup.le	S	4	3.9	Tratto Montano
SL04001	Rio	Lago	Rio del Lago	1	Sup.le	S	4	9.4	Tratto di fondovalle
SL04001	Rio	Lago	Rio del Lago	1	Sup.le	S	4	9.4	Tratto di fondovalle
SL03001	Torrente	Slizza	Torrente Slizza	1	Sup.le	S	4	4.9	Tratto di fondovalle
SL04003	Canale	Bartolo	canale Bartolo	1	Sup.le	S	3	4.0	Tratto Montano
SL04006	Canale	Carri	Canale dei Carri	1	Sup.le	S	3	0.9	Tratto Montano
SL04001	Rio	Lago	Rio del Lago	1	Sup.le	S	3	2.8	Tratto di fondovalle
SL04002	Rio	Bianco	Rio Bianco	1	Sup.le	S	3	3.1	Tratto Montano
SL06041	Rio	Del Lago	Rio Del Lago	1	Sup.le	S	3	2.9	Tratto Montano
SL05020	Rio	Bianco	Rio Bianco	1	Sup.le	N	3	0.2	Rio Montano
SL05005	Torrente	Casarenza	Torrente Casarenza	1	Sup.le	N	3	1.5	Rio Montano
SL04003	Canale	Bartolo	canale Bartolo	1	Sup.le	S	2	1.1	Tratto Montano
SL04006	Canale	Carri	Canale dei Carri	1	Sup.le	S	2	3.0	Tratto Montano
SL06003	Canale	Trincea	Canale della Trincea	1	Sup.le	N	2	1.1	Rio Montano
SL05012	Canale	Risonante	Canale Risonante	1	Sup.le	N	2	0.8	Rio Montano
SL05009	Canale	Malga	Canale della Malga	1	Sup.le	N	2	1.6	Rio Montano
SL05003	Canale	Inferno	Canale Inferno	1	Sup.le	N	2	1.6	Rio Montano
SL04001	Rio	Lago	Rio del Lago	1	Sup.le	S	2	0.7	Tratto Montano
SL04002	Rio	Bianco	Rio Bianco	1	Sup.le	S	2	6.0	Tratto Montano
SL04004	Rio	Freddo	Rio Freddo	1	Sup.le	S	2	5.2	Tratto di fondovalle
SL05032	Rio	Verde	Rio Verde	1	Sup.le	N	2	0.3	Rio Montano
SL06002	Rio	Nero	Rio Nero	1	Sup.le	N	2	2.8	Rio Montano

SL05022	Rio	Conzen	Rio (Canale) Conzen	1	Sup.le	N	2	0.5	Rio Montano
SL05024	Rio	Grantagar	Rio Grantagar	1	Sup.le	N	2	1.4	Rio Montano
SL05010	Rio	Borgo	Rio Borgo	1	Sup.le	N	2	1.8	Rio Montano
SL05015	Rio	Vaisonz	rio Vaisonz	1	Sup.le	S	2	2.5	Tratto Montano
SL05043	Rio	Canton	Rio Canton	1	Sup.le	N	2	0.1	Rio Montano
SL06041	Rio	Del Lago	Rio Del Lago	1	Sup.le	S	2	2.7	Rio Montano
SL05036	Rio	Confine	Rio Confine	1	Sup.le	N	2	0.4	Rio Montano
SL06041	Rio	Del Lago	Rio Del Lago	1	Sup.le	S	2	2.7	Tratto Montano
SL06039	Rio	Svabezza	Rio Svabezza	1	Sup.le	N	2	0.6	Rio Montano
SL05020	Rio	Bianco	Rio Bianco	1	Sup.le	N	2	1.3	Rio Montano
SL05006	Rio	Torto	Rio Torto	1	Sup.le	N	2	2.0	Rio Montano
SL05007	Rio	Confine	Rio Confine	1	Sup.le	N	2	1.1	Rio Montano
SL06007	Rio	Vorciar	Rio Vorciar	1	Sup.le	N	2	2.2	Rio Montano
SL05001	Rio	Lussari	Rio Lussari	1	Sup.le	N	2	3.6	Rio Montano
SL05011	Torrente	Staritmer	Torrente Staritmer	1	Sup.le	N	2	1.0	Rio Montano
SL06006	Torrente	Mosgai	Torrente Mosgai	1	Sup.le	N	2	0.8	Rio Montano
SL05005	Torrente	Casarenza	Torrente Casarenza	1	Sup.le	N	2	0.5	Rio Montano
SL04003	Canale	Bartolo	canale Bartolo	1	Sup.le	S	1	1.8	Tratto Montano
SL05031	Canale	Predil	Canale del Predil	1	Sup.le	N	1	1.2	Rio Montano
SL04006	Canale	Carri	Canale dei Carri	1	Sup.le	S	1	1.1	Rio Montano
SL06003	Canale	Trincea	Canale della Trincea	1	Sup.le	N	1	0.6	Rio Montano
SL06004	Canale	Bosco Nero	Canale del Bosco Nero	1	Sup.le	N	1	1.6	Rio Montano
SL05012	Canale	Risonante	Canale Risonante	1	Sup.le	N	1	1.3	Rio Montano
SL05009	Canale	Malga	Canale della Malga	1	Sup.le	N	1	0.6	Rio Montano
SL05027	Canale	Smalizza	Canale Smalizza	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL05028	Canale	Camoscio	Canale del Camoscio	1	Sup.le	N	1	1.3	Rio Montano

SL05029	Canale	Breccia	Canale della Breccia	1	Sup.le	N	1	1.2	Rio Montano
SL05030	Canale	Lama	Canale Lama	1	Sup.le	N	1	1.2	Rio Montano
SL06005	Canale	Argento	Canale Argento	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL05034	Canale	Prisnig	Canale Prisnig	1	Sup.le	N	1	1.1	Rio Montano
SL05039	Canale	Pauliblas	Canale Pauliblas	1	Sup.le	N	1	0.9	Rio Montano
SL05003	Canale	Inferno	Canale Inferno	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL04001	Rio	Lago	Rio del Lago	1	Sup.le	S	1	0.5	Tratto Montano
SL04002	Rio	Bianco	Rio Bianco	1	Sup.le	S	1	2.0	Tratto Montano
SL04004	Rio	Freddo	Rio Freddo	1	Sup.le	S	1	1.4	Tratto di fondovalle
SL05032	Rio	Verde	Rio Verde	1	Sup.le	N	1	0.9	Rio Montano
SL04005	Rio	Chiusa	Rio della Chiusa	1	Sup.le	N	1	5.1	Rio Montano
SL04007	Rio	Molino	rio Molino	1	Sup.le	N	1	2.8	Rio Montano
SL04008	Rio	Canale	Rio Canale	1	Sup.le	N	1	2.3	Rio Montano
SL04009	Rio	Citt	Rio Citt	1	Sup.le	N	1	1.9	Rio Montano
SL04010	Rio	Ciutte	Rio Ciutte	1	Sup.le	N	1	1.9	Rio Montano
SL06002	Rio	Nero	Rio Nero	1	Sup.le	N	1	0.7	Rio Montano
SL04011	Rio	Filaferro	Rio Filaferro	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL04013	Rio	Capin	Rio Capin	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL05018	Rio	Robon	Rio Robon	1	Sup.le	N	1	1.2	Rio Montano
SL05019	Rio	Ferro	Rio Ferro	1	Sup.le	N	1	1.5	Rio Montano
SL05022	Rio	Conzen	Rio (Canale) Conzen	1	Sup.le	N	1	0.9	Rio Montano
SL07001	Rio	Clec	Rio Clec	1	Sup.le	N	1	0.5	Rio Montano
SL05024	Rio	Grantagar	Rio Grantagar	1	Sup.le	N	1	0.3	Rio Montano
SL05025	Rio	Combattenti	Rio dei Combattenti	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL05026	Rio	Nero	Rio Nero	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL05010	Rio	Borgo	Rio Borgo	1	Sup.le	N	1	0.4	Rio Montano
SL05014	Rio	Sciober	Rio Sciober	1	Sup.le	N	1	2.1	Rio Montano
SL05015	Rio	Vaisonz	rio Vaisonz	1	Sup.le	S	1	2.2	Tratto Montano
SL05016	Rio	Pleccia	Rio Pleccia	1	Sup.le	N	1	1.9	Rio Montano
SL05041	Rio	Cascate	Rio delle Cascate	1	Sup.le	N	1	0.9	Rio Montano
SL05042	Rio	Messesnig	Rio Messesnig	1	Sup.le	N	1	0.8	Rio Montano

SL05043	Rio	Canton	Rio Canton	1	Sup.le	N	1	0.6	Rio Montano
SL05044	Rio	Lavina	Rio Lavina	1	Sup.le	N	1	0.7	Rio Montano
SL05045	Rio	Scalina	Rio Scalina	1	Sup.le	N	1	0.2	Rio Montano
SL05035	Rio	Valfrassin no	Rio Valfrassin o	1	Sup.le	N	1	1.0	Rio Montano
SL05036	Rio	Confine	Rio Confine	1	Sup.le	N	1	0.6	Rio Montano
SL06041	Rio	Del Lago	Rio Del Lago	1	Sup.le	S	1	2.1	Rio Montano
SL06039	Rio	Svabezza	Rio Svabezza	1	Sup.le	N	1	0.9	Rio Montano
SL05020	Rio	Bianco	Rio Bianco	1	Sup.le	N	1	0.6	Rio Montano
SL05021	Rio	Torer	Rio Torer	1	Sup.le	N	1	1.5	Rio Montano
SL05037	Rio	Dirupo	Rio Dirupo	1	Sup.le	N	1	1.0	Rio Montano
SL05038	Rio	Leifer	Rio Leifer	1	Sup.le	N	1	1.0	Rio Montano
SL05006	Rio	Torto	Rio Torto	1	Sup.le	N	1	0.7	Rio Montano
SL05007	Rio	Confine	Rio Confine	1	Sup.le	N	1	1.8	Rio Montano
SL05008	Rio	Porfido	Rio Porfido	1	Sup.le	N	1	2.3	Rio Montano
SL06007	Rio	Vorciar	Rio Vorciar	1	Sup.le	N	1	0.2	Rio Montano
SL05082	Rio	Tschofen		1	Sup.le	N	1	1.6	Rio Montano
SL04028	Rio	Profondo		1	Sup.le	N	1	0.8	Rio Montano
SL05001	Rio	Lussari	Rio Lussari	1	Sup.le	N	1	1.3	Rio Montano
SL06016	Rio	Apnen	Rio Apnen	1	Sup.le	N	1	2.9	Rio Montano
SL06008	Rio	Apnen	Rio Apnen o Rio Auben	1	Sup.le	N	1	1.0	Rio Montano
SL06010	Rio	Sciarpa	Rio Sciarpa	1	Sup.le	N	1	0.8	Rio Montano
SL06011	Rio	Zotte	Rio Zotte	1	Sup.le	N	1	0.7	Rio Montano
SL04012	Torrente	Rank	Torrente Rank	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL05017	Torrente	Muli	Torrente Muli	1	Sup.le	N	1	1.8	Rio Montano
SL05023	Torrente	Cacciatore	Torrente Cacciatore	1	Sup.le	N	1	1.4	Rio Montano
SL05011	Torrente	Staritmer	Torrente Staritmer	1	Sup.le	N	1	1.1	Rio Montano
SL05033	Torrente	Gaccia	Torrente Gaccia	1	Sup.le	N	1	1.1	Rio Montano
SL05013	Torrente	Malo	Torrente Malo	1	Sup.le	N	1	2.1	Rio Montano
SL06006	Torrente	Mosgai	Torrente Mosgai	1	Sup.le	N	1	0.6	Rio Montano
SL05005	Torrente	Casarenza	Torrente Casarenza	1	Sup.le	N	1	0.9	Rio Montano

SL06009	Torrente	Novafra a	Torrente Novafra	1	Sup.le	N	1	1.0	Rio Montano
⁽⁰⁾ Definisce se il corso d'acqua è un fiume, torrente, rio, scolo, roggia, canale. Col termine Rio minore sono stati chiamati i corsi d'acqua di ordine 1 fortemente intermittenti che non sono stati classificati dall'IRDAT									
⁽¹⁾ Definisce se si tratta di corso d'acqua prevalentemente naturale o artificiale. 1 – naturale, 2 - artificiale									
⁽²⁾ Definisce se si tratta di corso d'acqua superficiale, di risorgiva, o vettore, nel caso si tratti di canale che deriva l'acqua da un bacino per rilasciarla in un altro (è opportuno precisare che tali corsi non hanno bacino scolante)									
⁽³⁾ Definisce se si tratta di corso d'acqua principale. S – sì, N - no									
⁽⁴⁾ Definisce se l'ordine dell'asta secondo la gerarchia di Horton - Strahler									
⁽⁵⁾ Classificazione delle aste fluviali proposta dal PRTA per il calcolo del DMV									

Appendice B - Codice in *Matlab* per la determinazione delle grandezze morfometriche

```
%Script per la determinazione delle grandezze morfometriche del
bacino a partire da matrice DTM nxm del dtm grid lmxlm avente
contenente quote del terreno e di default -9999 nelle celle esterne
alla maschera del bacino-999
%*****
%Determinazione quote notevoli del bacino
[n,m]=size(DTM); %vettore delle dimensioni della matrice DTM
k=0; %contatore delle celle del bacino
sum=0;%variabile calcolo della somma delle quote
for i=1:n
    for j=1:m
        if DTM(i,j)<=0
            DTM(i,j)=NaN; %sostituisce NaN nelle celle esterne alla
maschera di modo che non vengano plottate
        else
            k=k+1;
            sum=sum+DTM(i,j);
        end
    end
end
max=max(DTM(:)); %quota massima del bacino
min=min(DTM(:)); %quota minima del bacino
media=sum/k; %quota media del bacino
%*****
%Determinazione della curva Ipsometrica
d=50; %numero di intervalli in cui viene suddiviso regolarmente il
massimo dislivello di quota del bacino
delta=(max-min)/d; %ampiezza degli intervalli di suddivisione
for i=0:d
    IPSX(i,1)=min+i*delta; %vettore dei valori in ascissa dei punti
della curva ipsometrica
    IPSY(i,1)=0; %inizializzazione dell'ordinata del punto i-esimo
della curva ipsometrica
    for j=1:n
        for h=1:m
            if DTM(j,h)>=IPSX(i,1)
                IPSY(i,1)=IPSY(i,1)+1; %aggiorno valore dell'ordinata se
cella a quota superiore
            else
                ;
            end
        end
    end
    plot(IPSX,IPSY);
end
```

2. LE DERIVAZIONI IDRICHE AD USO IDROELETTRICO.

In questo capitolo si intende descrivere le derivazioni idriche per usi energetici e le opere che le compongono che sono presenti nel bacino del torrente Slizza; tutti argomenti verranno sempre trattati inizialmente partendo da una loro descrizione generale per poi ridurre la scala spaziale sino a raggiungere quella di bacino.

2.1. Le derivazioni idriche.

Soprattutto negli ultimi decenni, quello della gestione delle risorse idriche è un settore che, nei suoi molteplici aspetti, è stato interessato da un notevole sviluppo della normativa.

Infatti oltre alla già citata Direttiva Acque vale la pena ricordare la L. 5 gennaio 1994, n. 36 o “Legge Galli” che, nei principi generali, estende la tutela pubblica a tutte le acque, ed applica ad esse il criterio di sostenibilità dell’uso, ovvero, facendo alla prima definizione fornita, *facendo in modo che esso soddisfi il bisogno dell’attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere alle loro* (Brundtland Commission - ONU, 1987)

È evidente quindi che, soprattutto l’aspetto delle derivazioni idriche, in quanto prelievi di acqua pubblica per scopi vari, sarà strettamente definito e vincolato dal quadro normativo che, in questo caso, per attribuzione di competenza, è quello definito dalle Regioni.

Per quanto riguarda il Friuli Venezia Giulia la norma di riferimento in tal senso è la Legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 “*Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque*” nella quale si definisce come derivazione idrica un *qualsiasi prelievo di acqua pubblica da corpi idrici superficiali, sotterranei o sorgenti*; questo prelievo sarà realizzato mediante un sistema derivatorio inteso come *l’insieme delle diverse strutture (opere di presa superficiale o sotterranea, rete di collegamento, di adduzione e di distribuzione, impianto di utilizzo o ambito servito, eventuali trasferimenti d’acqua a o da un altro sistema, opere di restituzione o scarico) che costituiscono un unico complesso per la gestione ed utilizzo dell’acqua prelevata.*

Tutti i prelievi d’acqua possono avvenire solo se autorizzati dalla regione con specifiche *concessioni di derivazione*, che, a seconda dell’uso e della quantità d’acqua richiesta, come da L.R. 17/2009, art. 6, c. 3, hanno una durata massima tra i 10 ed i 30 anni.

Infatti le derivazioni possono essere classificate in funzione all’utilizzo dell’acqua prelevata, all’entità della portata prelevata e, come si vede nella definizione, in base al corpo idrico che ne è oggetto.

Per quanto riguarda i possibili utilizzi dell’acqua derivata, essi sono:

- il consumo umano, ossia come acqua potabile, attraverso gli impianti di acquedotto e/o i pozzi privati;
- uso idroelettrico;
- uso irriguo;
- uso industriale;
- uso ittogenico;
- uso geotermico;
- uso termale;
- uso oligominerale e di sorgente.

Dove in ottica gerarchica l’uso potabile e poi irriguo delle acque sono naturalmente da considerare prioritari rispetto a tutti gli altri.

Per quanto riguarda invece la classificazione in funzione delle dimensioni/entità del prelievo, in base al Regio Decreto R.D. 1775/33, fissato l’utilizzo, si possono distinguere le *grandi derivazioni* dalle *piccole derivazioni* rifacendosi ai limiti riportati in tabella (Tab.2.1-I). Come si nota dalla tabella la classificazione è in funzione della potenza nominale media annua per gli usi idroelettrici mentre in funzione della portata media derivata per tutti gli altri.

Questa classificazione in alcune regioni ha ripercussioni sulla definizione dell’autorità competente ed in ogni caso sulla tariffa del canone.

Tab.2.1-I: Piccole e Grandi derivazioni secondo il R.D. 1775/33.

Uso	Piccole derivazioni	Grandi derivazioni
Idroelettrico	Inferiore a 3000 kW di potenza nominale media annua	Superiore a 3000 kW di potenza nominale media annua
Irriguo	Inferiore a 1000 l/s di portata o che irriga una superficie < 500 ha	Superiore a 1000 l/s di portata o che irriga una superficie > 500 ha
Tutti gli altri usi	Inferiore a 100 l/s di portata media	Superiore a 100 l/s di portata media

Per quanto riguarda la classificazione delle derivazioni in funzione del corpo idrico di captazione, sebbene questa sia molto importante nell'ambito della gestione delle risorse idriche, visto l'argomento di questo elaborato, non verranno considerate le derivazioni da sorgente e da falde ma ci si concentrerà solo su quelle relative ai corpi idrici superficiali abbreviato come C.I.S. nelle figure successive.

Sempre per legge, una volta assegnato l'atto di concessione in esso viene anche definito l'*obbligo ittogenico* ossia l'onere, a carico del concessionario di derivazione di acqua da un corpo idrico superficiale, erogato alla pubblica amministrazione per la compensazione annuale del complesso degli impatti determinati dalla derivazione sull'ittiofauna e sull'ecosistema acquatico.

Questo tema verrà approfondito in seguito tuttavia si anticipa brevemente che tale onere, nel bacino dello Slizza, consiste nel finanziamento della semina annua degli avannotti di trota fario necessari all'eventuale ripopolamento.

In figura seguente si riporta la mappa delle derivazioni, indicandone presa e restituzione, su corpi idrici superficiali presenti in Friuli Venezia Giulia suddivise tra usi idroelettrici e non (Fig.2-1).

Per meglio comprendere la figura suddetta gli si associa la figura (Fig.2-2) in cui si riporta la suddivisione delle derivazioni in funzione dell'uso; si precisa che tale grafico a torta è stato ottenuto sulla base delle portate medie derivate (in l/s) considerando le prese ad uso continuativo, saltuario ed anche quelle in fase di progetto già presenti nella banca dati della Regione. Se ne riassumono i valori numerici in tabella (Tab.2.1-II).

Da queste immagini si deduce che:

- La maggior parte delle portate derivate sono ad uso idroelettrico, seguite da quello irriguo ed ittogenico. Gli altri usi interessano portate che, relativamente alle prime, sono trascurabili;
- Le derivazioni ad uso idroelettrico si concentrano in larga maggioranza nelle fasce alpina e prealpina dove vi sono le condizioni geomorfologiche, topografiche e idrauliche ideali per la realizzazione degli impianti idroelettrici. Nelle fasce pianeggianti più ricche di colture prevalgono invece le derivazioni ad uso irriguo;

Tab.2.1-II: Numero di prese da corpi idrici superficiali e portata media derivata in funzione dell'uso nella regione Friuli Venezia Giulia.

Uso	N	Q_{media} [l/s]	%
Idroelettrico	243	619803.1	79.15
Industriale	16	889.35	0.11
Ittogenico	79	46979.5	6.00
Domestico	15	566.25	0.07
Irriguo	220	112509	14.37
Potabile	16	2330.23	0.30
Totale	589	783077.5	100

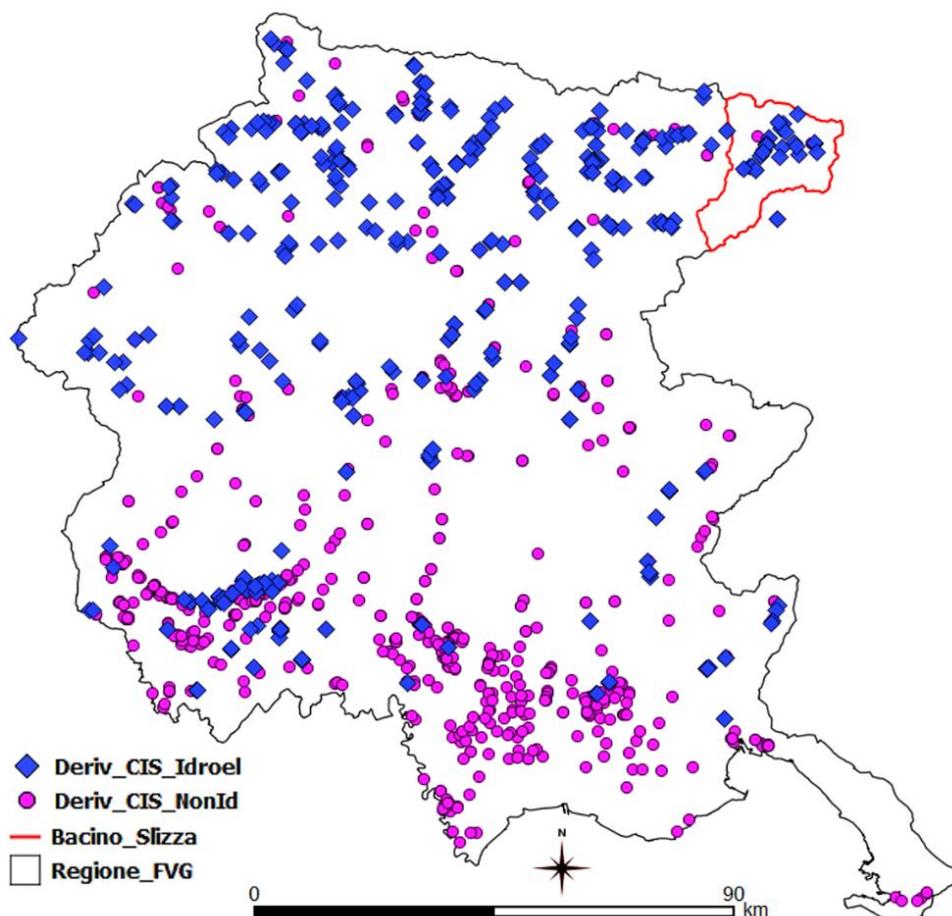


Fig.2-1: Derivazioni da corpi idrici superficiali ad uso idroelettrico e non in Friuli Venezia Giulia.

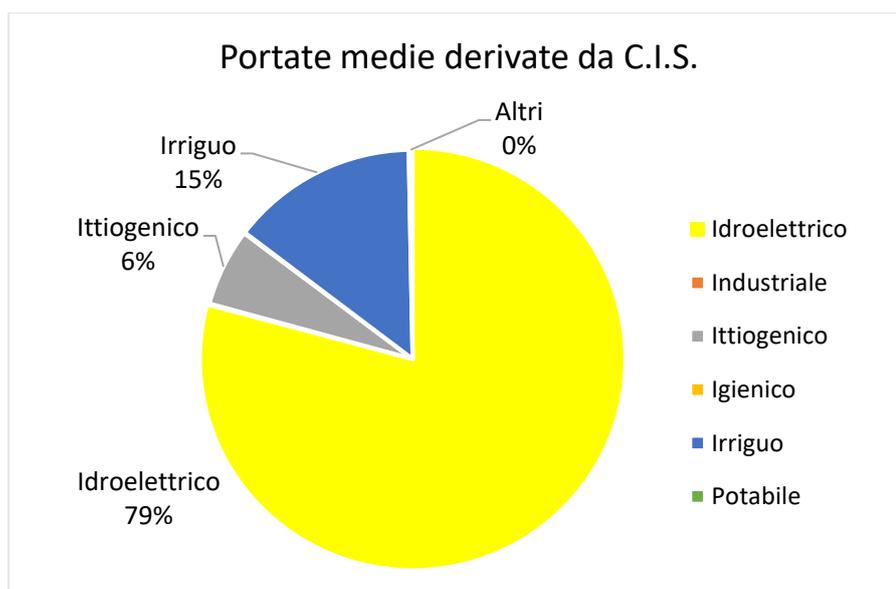


Fig.2-2: Suddivisione delle derivazioni in base all'uso della portata media presa da corpi idrici superficiali in Friuli Venezia Giulia (da elaborazione dati IRDAT).

Concentrandosi sul bacino idrografico del torrente Slizza, rifacendosi alla classificazione di Tab.2.1-I, si nota che in esso non vi sono grandi derivazioni, mentre è elevato il numero di piccole derivazioni sia sui corpi idrici superficiali e sotterranei che sulle tante sorgenti perenni presenti in esso (Fig.2-3).

In particolare, come si vedrà in seguito, le prese sui corpi idrici superficiali sono soprattutto dedicate ad alimentare i numerosi impianti idroelettrici presenti mentre dagli altri corpi idrici si estraggono acque fondamentali per il sistema di distribuzione di Tarvisio.

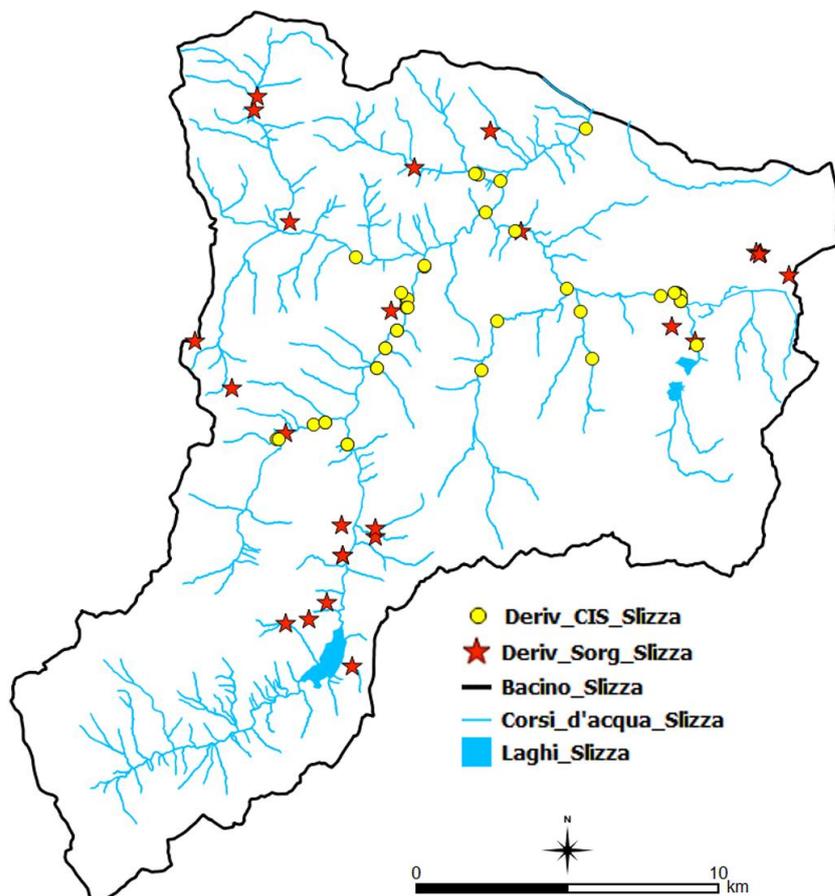


Fig.2-3: Derivazioni da corpi idrici superficiali e sorgenti nel bacino dello Slizza.

I dati relativi alle derivazioni sui corpi idrici superficiali del bacino idrografico dello Slizza sono riportate in allegato (Appendice C); a partire da queste si ripetono elaborazioni fatte su scala regionale ottenendo i seguenti risultati (Fig.2-4, Fig.2-5 e Tab.2.1-III):

Tab.2.1-III: Numero di prese da corpi idrici superficiali e portata media derivata in funzione dell'uso nel bacino dello Slizza

Uso	<i>N</i>	<i>Q</i> _{media} [l/s]	%
Idroelettrico	20	17507	97.80
Industriale	2	352	1.97
Irriguo Sportivo	1	2	0.01
Domestico	1	20	0.11
Potabile	1	20	0.11
Totale	25	17901	100.00

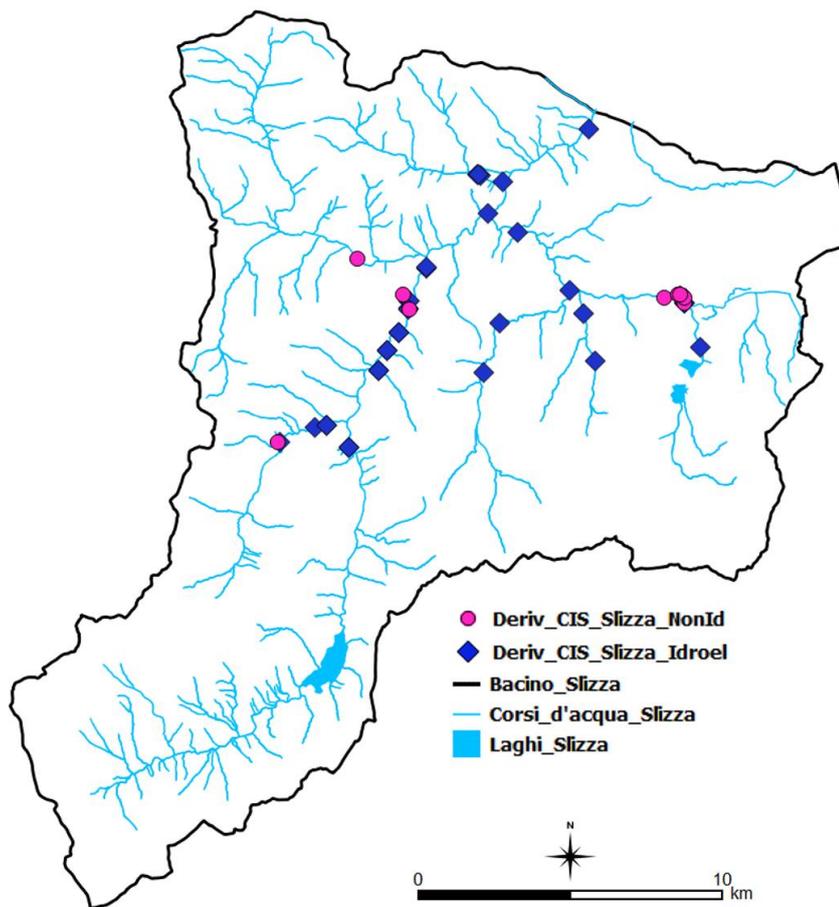


Fig.2-4: Derivazioni da corpi idrici superficiali ad uso idroelettrico e non nel bacino dello Slizza.

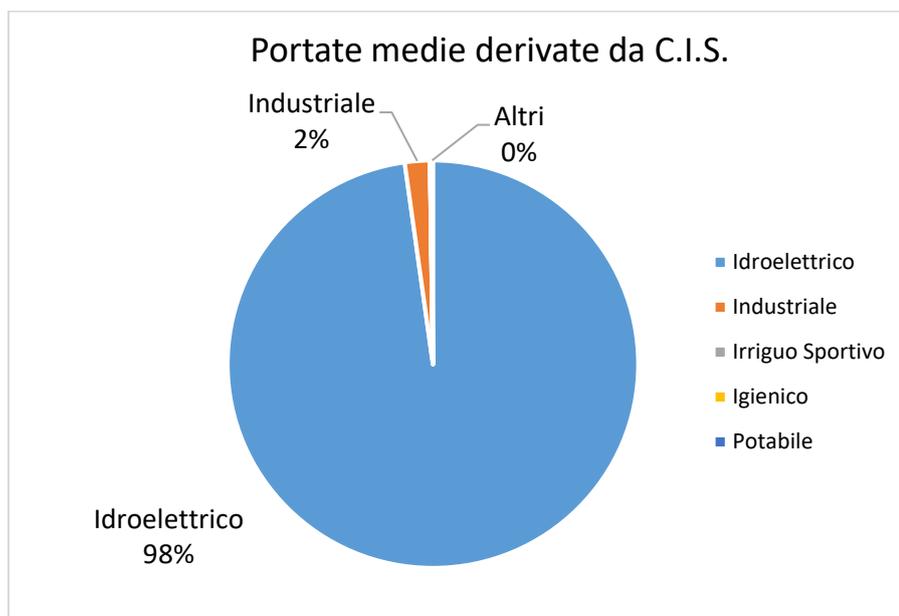


Fig.2-5: Suddivisione delle derivazioni in base all'uso della portata media presa da corpi idrici superficiali nel bacino dello Slizza (da elaborazione dati IRDAT).

Tenendo conto di quanto osservato in precedenza anche su scala regionale si può dire che le derivazioni idriche sul bacino idrografico dello Slizza:

- sono quasi esclusivamente volte all'uso idroelettrico e in minima parte ad uso industriale mentre relativamente trascurabili per gli altri usi. Questa è diretta conseguenza della posizione geografica del bacino;
- insistono su un numero ridotto di aste in quanto, come si vedrà anche successivamente nell'analisi dei tratti sottesi, si concentrano quasi esclusivamente sui corsi d'acqua principali del bacino visto le modeste dimensioni di quelli minori.
Tuttavia, si vedrà in seguito, che proprio questa situazione garantirà ancora margine di sviluppo futuro dell'idroelettrico nel bacino.

Come già accennato nel proseguito ci si concentrerà solo sulle derivazioni ad uso idroelettrico in quanto sono, tra le derivazioni nel bacino idrografico dello Slizza, la maggiore fonte di impatto e quindi causa prevalente per la realizzazione delle opere di risalita che sono oggetto della presente tesi.

2.2. Derivazioni idriche ad usi energetici.

Le derivazioni idriche ad usi energetici sono quelle che servono ad alimentare gli impianti idroelettrici per cui di seguito si darà una breve descrizione della tecnologia e degli impatti legati al suo utilizzo.

2.2.1. L'energia idroelettrica

Come noto, una qualunque massa fluida possiede energia idraulica risultante delle componenti cinetica, potenziale e di pressione; questa energia è ovviamente non fossile e rinnovabile cioè non esauribile nella scala dei tempi umani e può essere sfruttata sotto-forma di:

- energia meccanica, come ad esempio nei mulini ad acqua;
- energia elettrica, ovvero idroelettrica, attraverso la trasformazione in appositi impianti.

Oggi giorno, almeno nei paesi più industrializzati, l'energia idraulica è utilizzata quasi esclusivamente per produrre energia elettrica con l'obiettivo di ottenere un'autonomia locale ecocompatibile e quindi uno sviluppo economico sostenibile.

Come si vedrà nei paragrafi successivi, l'impatto causato dall'utilizzo di questa fonte, sebbene non sia fossile, non è affatto trascurabile sotto vari aspetti; per questo motivo vale la pena motivarne l'utilizzo sottolineando l'importanza che sia attualmente che in ottica futura questa ricopre nel quadro energetico Europeo (Fig.2-6 e Fig.2-7).

Come si nota dalle immagini l'energia idraulica nella U.E. risulta essere attualmente la principale fonte rinnovabile per la produzione elettrica e comunque una fonte primaria di energia non trascurabile.

Per quanto riguarda il futuro invece, è ormai appurato che il settore dei grandi impianti idroelettrici è, almeno in Europa, praticamente saturo; o più precisamente, sfruttando la classificazione degli impianti che verrà introdotta al 2.2.2, si può dire che la produzione di energia attraverso nuovi impianti con riserva d'acqua ha raggiunto in Europa un livello prossimo al potenziale teorico.

Quindi, il margine di incremento di produzione presente, è dato da impianti di piccola taglia (*Mini-Hydro*) che utilizzano piccole turbine da pochi kW a poche decine di kW e che non richiedono nuovi invasi in quanto possono sfruttare sbarramenti già presenti realizzati nel passato per motivi forestali-idraulici come briglie e soglie, delle quali, più che la capacità di invaso solitamente nulla si sfrutta il salto di fondo che hanno generato o in corrispondenza di salti naturali come quelli di una cascata o un tratto ripido di torrente o artificiali come quelli degli acquedotti delle reti di distribuzione locali.

Ovviamente la realizzazione e l'utilizzo di questi impianti, viste le dimensioni, sarà per soddisfare un fabbisogno locale e sicuramente non industriale.

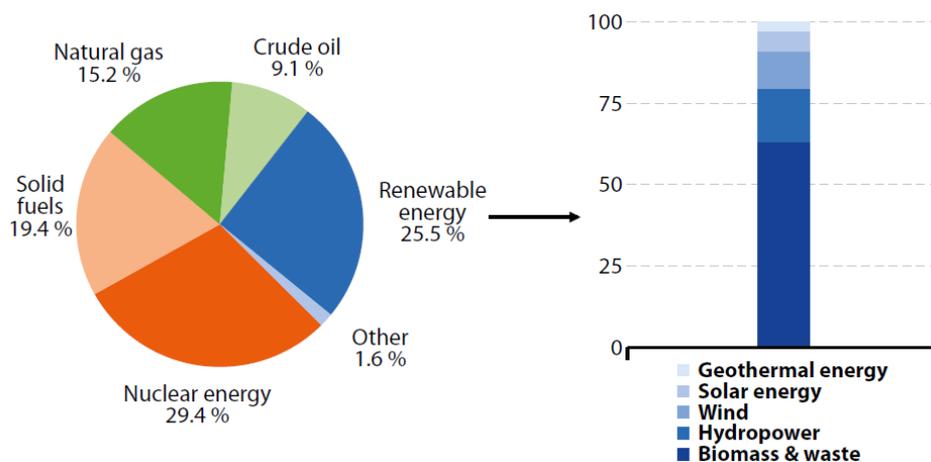


Fig.2-6: Produzione di energia da fonti primarie [Mtep] in U.E. (Eurostat, 2014).

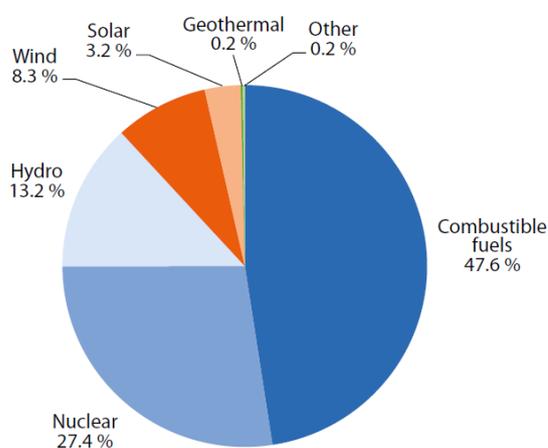


Fig.2-7: Produzione di energia elettrica [GWh] in U.E. (Eurostat, 2014)

La situazione Europea appena descritta ovviamente rispecchia anche la situazione Italiana dove, da elaborazione degli ultimi dati ufficiali (ISTAT, 2016) relativi all'anno 2014 si nota che:

- l'energia idraulica costituisce circa il 19% della produzione da fonti primarie;
- l'idroelettrico è la principale fonte rinnovabile per la produzione di energia elettrica nazionale di cui è quasi il 50%. Di questa si ha la ripartizione in funzione della taglia dell'impianto riportata in tabella (Tab.2.2.1-I);
- il grande idroelettrico è sostanzialmente saturo mentre, come si nota dalla tabella precedente, mentre esiste ancora margine di sviluppo del mini-idroelettrico, specie nelle regioni alpine tra le quali anche il Friuli Venezia Giulia.

Tab.2.2.1-I: Produzione di energia idroelettrica in Italia per le varie tipologie di impianto.

Dimensione dell'impianto ^{(1), (2)}	% energia prodotta
Mini (0 ÷ 1 MW)	5.4
Piccolo (1 ÷ 10 MW)	18.8
Grande (>10 MW)	75.8

⁽¹⁾ In Italia i grandi impianti con riserva d'acqua sono mediamente di 88 MW mentre quelli ad acqua fluente sono mediamente di 366 kW (INTERREG,2014)

⁽²⁾ Si veda paragrafo 2.2.2.4 per la classificazione adottata

Considerazioni analoghe possono essere fatte anche per la regione del Friuli Venezia Giulia dove, sempre elaborando i dati dell'annuario ISTAT 2016, si può affermare che:

- l'idroelettrico costituisce circa il 68% della produzione elettrica da fonti rinnovabili e circa il 28% della produzione di energia da fonti primarie;
- il grande idroelettrico può ritenersi già sfruttato, mentre esiste la possibilità di realizzazioni residue di mini-generazione idroelettrica con potenze nominali fino a 1 MW.

Infine per quanto riguarda lo stato dell'idroelettrico nel bacino dello Slizza questo può essere riassunto con la tabella seguente (Tab.2.2.1-II) in cui si riporta, suddividendo per dimensione l'impianto, il numero di impianti, la potenza nominale media e quella totale.

Questa tabella è stata ottenuta elaborando i dati riportati in allegato (Appendice D) che derivano dal catalogo IRDAT e dal censimento degli impianti idroelettrici presenti nelle comunità montane della regione Friuli Venezia Giulia svolto nel *Programma Interreg IV° Italia – Austria 2007-2013*.

Si evidenzia come, in ragione della struttura idrografica descritta nel capitolo precedente, nel bacino non vi sia grandi impianti ma sia già molto sfruttato soprattutto con numerosi piccoli impianti aventi potenza media in linea coi valori italiani di Tab.2.2.1-I.

Tab.2.2.1-II: Impianti idroelettrici nel bacino idrografico dello Slizza

Tipologia impianto	N	$P_{nom,tot}$ [kW]	$P_{nom,media}$ [kW]
Tutti	33	20638	625.39
Grande/Piccolo	4	10455	2613.75
Mini	29	10183	351.14

Le mappe delle derivazioni ad uso idroelettrico in regione e nel bacino dello Slizza sono già state riportate nel paragrafo precedente e danno inoltre una precisa indicazione sulle attuali zone "motrici" dell'idroelettrico che sono appunto quelle montane. In particolare, per quanto appena detto, la presenza in esse di numerosi corsi d'acqua, sebbene con portate non elevate, e di salti naturali, farà sì che, saranno sempre queste zone quelle interessate alla realizzazione dei futuri piccoli impianti *Mini-Hydro* ad acqua fluente. A tal proposito è interessante riportare la mappa delle centrali idroelettriche presenti nel bacino idrografico del Danubio (Fig.2-9) che evidenzia in modo lampante la forte concentrazione dell'idroelettrico nella sua porzione montuosa in cui ricade anche il bacino dello Slizza e dà anche un'idea qualitativa dell'impatto che indubbiamente produce.

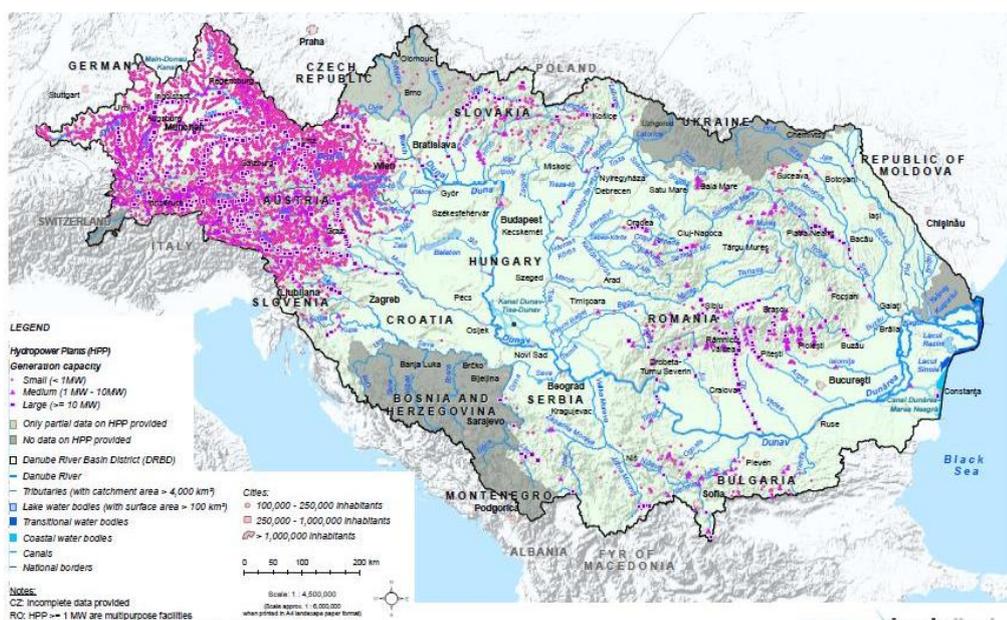


Fig.2-9: Distribuzione delle centrali idroelettriche nel bacino idrografico del Danubio (*International Commission for the Protection of the Danube River - ICDPR, 2014*)

A conclusione dell'analisi appena svolta è evidente che, attualmente, in futuro ed a ogni scala, l'energia idroelettrica risulta essere una fonte di energia irrinunciabile.

È possibile anche affermare che le tecnologie applicate per realizzare gli impianti idroelettrici sono "mature", ossia ampiamente consolidate anche alla scala di piccola-media potenza; per cui i problemi rilevanti ai fini dell'installazione di impianti idroelettrici attengono essenzialmente agli aspetti ambientali ed economici, tra loro interdipendenti.

Quindi si dimostra fondamentale verificare puntualmente e nel corso del tempo l'effettiva disponibilità della risorsa nel territorio, e gli impatti ambientali che si introducono utilizzandola a fini idroelettrici.

Senza entrare nel dettaglio, il principio su cui si basa l'utilizzo idroelettrico è quello di sfruttare l'energia potenziale posseduta da una massa d'acqua posta in quota, che sarà:

$$E_z = m \cdot g \cdot \Delta z$$

Dove:

- m è la massa d'acqua;
- g è l'accelerazione di gravità;
- Δz è la differenza di quota tra il pelo libero della massa d'acqua e quella del corpo idrico in cui viene restituita (detto *salto*);

Sfruttando quest'energia è possibile ottenere una potenza elettrica pari a:

$$P = \eta \cdot \frac{dE_z}{dt} = \eta \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot \Delta z$$

Dove:

- η è il rendimento della centrale idroelettrica.
- ρ è la densità del fluido;
- Q è la portata volumetrica derivata.

E quindi, supponendo il salto costante nel tempo, un'energia idroelettrica:

$$E_e = \int_0^t P d\tau \cong \eta \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta z \int_0^t Q(\tau) d\tau$$

È dunque evidente che la producibilità dell'impianto idroelettrico dipende fundamentalmente da tre grandezze:

- Dal rendimento della centrale, che dipende a sua volta da molteplici parametri tra i quali anche il tipo di impianto;
- Dal salto Δz che è vincolato dall'orografia del territorio;
- Dalla portata $Q(t)$ derivata che diventa quindi la grandezza stocastica del problema. Questa può essere descritta con vari diagrammi come ad esempio quello cronologico ma tra questi solitamente primeggia il diagramma di durata delle portate che esprime il legame tra la portata ed il numero di giorni all'anno in cui è garantita o superata (Fig.2-10) e la cui area sottesa esprime il volume potenzialmente captabile.

È ovvio che, al fine di produrre energia elettrica si cerca di massimizzare i valori del salto e del rendimento ed al tempo stesso di derivare il massimo volume d'acqua; tuttavia, mentre i primi due aspetti sono vincolati rispettivamente dalla topografia e dalle possibilità tecnologiche, quindi al rendimento η , l'ultimo è vincolato dalle normative volte alla gestione sostenibile delle risorse idriche che introducono il concetto del Deflusso Minimo Vitale che verrà ampiamente discusso nel proseguito. In quest'ottica di impatto ambientale è importante limitare non solo la portata derivata ma anche la lunghezza del tratto che ne viene privato ossia quello compreso tra la sezione di presa e la sezione di restituzione detto *Tratto sotteso*.

Questo, a seconda delle caratteristiche dell'impianto, può estendersi per lunghezze che vanno da valori nulli, quando la turbina è ubicata nel corpo della traversa, alle decine di metri fino anche a qualche km; in particolare quest'ultima situazione si verifica in genere quando:

- si vuole disporre di un salto più alto posto a distanza dalla sezione di presa in quanto portata e salto dello sbarramento non sono tali da garantire un'adeguata producibilità idroelettrica;
- si realizzano impianti a cascata in cui la restituzione non avviene immediatamente nel corpo idrico ma nella presa di impianti posti più a valle.

Di seguito si riporta la mappa con indicati tratti sottesi del bacino dello Slizza (Fig.2-10) mentre in tabella (Tab.2.2.1-III) si riassumono le loro lunghezze ed il loro confronto con quelle delle aste su cui insistono. Da questa si nota che:

- sebbene la maggioranza delle lunghezze sottese sono di qualche metro vi sono 8 tratti che superano il km;
- mediamente le aste interessate sono sottese per circa il 29.5% del loro sviluppo con un minimo dell'8.1% nel Rio Ciutte ed un massimo del 43% sul Rio Nero;
- in termini assoluti, fatta eccezione per il 313, i tratti sottesi di maggiore lunghezza non si trovano sull'asta principale del bacino ma bensì nei suoi maggiori affluenti in quanto caratterizzati da portate inferiori e pendenze del fondo maggiori;
- si notano degli importanti sistemi derivativi lungo il torrente Slizza e lungo il Rio del Lago (di Fusine) i quali saranno approfonditi nell'ultimo paragrafo del presente capitolo. Al contrario i corsi d'acqua minori sono minimamente interessati da derivazioni.

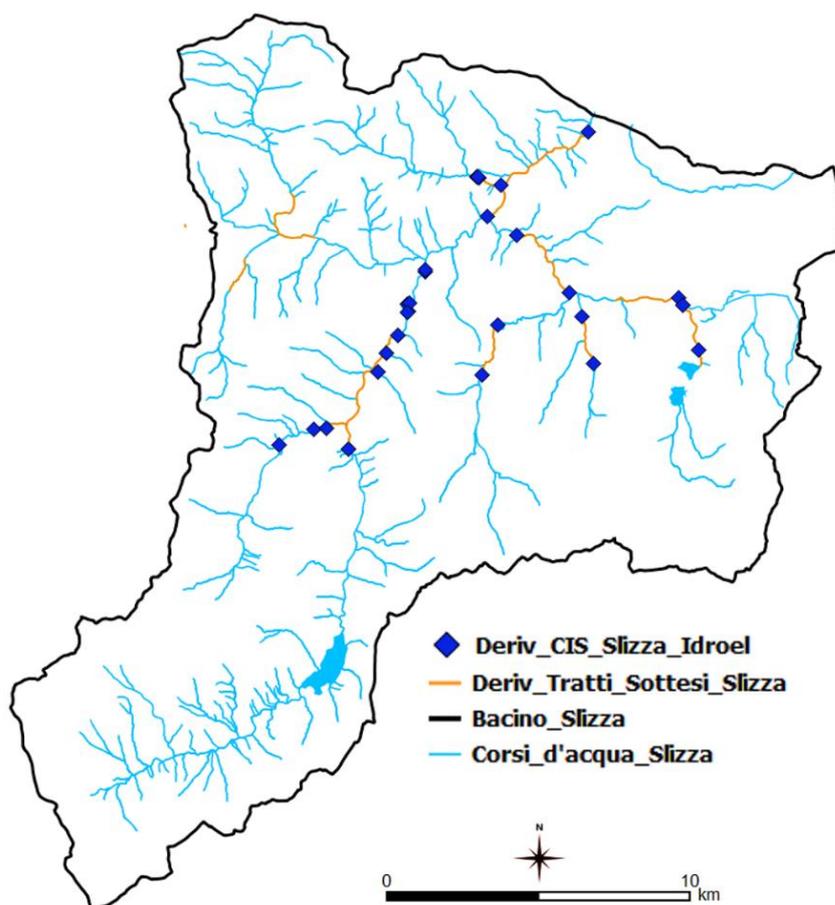


Fig.2-10: Tratti sottesi nel bacino idrografico dello Slizza.

Tab.2.2.1-III: Tratti sottesi nel bacino idrografico dello Slizza.

COD_Tratto	L_{tratto} [km]	Asta	L_{asta} [km]	%sottesa
35	0.38	<i>Rio del Lago (Fusine)</i>	9.46	36.6
125	1.29	<i>Rio del Lago (Fusine)</i>		
291	0.00	<i>Rio del Lago (Fusine)</i>		
272	1.58	<i>Rio del Lago (Fusine)</i>		
190	0.21	<i>Rio del Lago (Fusine)</i>		
114	0.04	<i>Rio Bianco</i>	11.20	31.5
134	2.14	<i>Rio Bianco</i>		
207	1.35	<i>Rio Bianco</i>		
9	0.50	<i>Rio Freddo</i>	1.36	37.1
289	2.65	<i>Rio del Lago (Raibl)</i>	13.40	19.7
176	1.19	<i>Rio Nero</i>	2.77	43.0
301	0.15	<i>Rio Ciutte</i>	1.87	8.1
274	0.08	<i>Rio Profondo</i>	0.84	10.0
235	0.86	<i>Rio Lussari</i>	3.58	24.1
304	0.58	<i>Canale dei Carri</i>	5.03	12.5
98	0.01	<i>Canale dei Carri</i>		
92	0.04	<i>Canale dei Carri</i>		
47	2.20	<i>Canale Bartolo</i>	10.86	20.2
198	0.04	<i>Torrente Slizza</i>	11.02	38.1
150	0.03	<i>Torrente Slizza</i>		
289	0.60	<i>Torrente Slizza</i>		
277	0.03	<i>Torrente Slizza</i>		
313	3.49	<i>Torrente Slizza</i>		

Al fine di comprendere meglio l'impatto di queste derivazioni bisogna anche considerare l'impianto di cui esse fanno parte.

Nella sua visione più generale un impianto idroelettrico (Fig.2-11) sarà composto da:

- opera di sbarramento quali dighe o traverse, ovvero citando D.Min. LL.PP. 24 marzo 1982 quegli *sbarramenti fluviali che determinano un rigurgito contenuto nell'alveo del corso d'acqua ed aventi capacità d'invaso scarsa o nulla* che devono essere opportunamente dotate di dispositivi di scarico ed eventualmente di passaggi per pesci;
- opera di presa, la cui configurazione dipende dalle caratteristiche del corso d'acqua quali il regime della corrente fluida, le caratteristiche dell'alveo, l'entità e tipologia del trasporto solido nonché dall'orografia del territorio;
- opere di convogliamento delle acque, ossia canali o condotte forzate, rispettivamente a seconda che siano a pelo libero o in pressione, la cui scelta dipende del salto;

Con l'insieme di questi primi tre elementi si realizza la derivazione idrica per cui nel paragrafo successivo verranno singolarmente approfonditi ma ad essi si aggiungono:

- dispositivi di sicurezza nei confronti del colpo d'ariete, ossia pozzi piezometrici o vasche di carico che evitano la propagazione delle onde di pressione oltre la condotta forzata;
- edificio di centrale, dove sono ubicate tutte le macchine quali l'impianto di pompaggio, gruppo turbine, trasformatore, contatori, quadri elettrici e sistemi di controllo;
- opera di restituzione, questa è generalmente realizzata mediante stramazzi e/o luci sotto battente.

Non è detto siano sempre presenti tutti gli elementi suddetti in quanto questo dipenderà in gran parte dalla tipologia di impianto adottata.

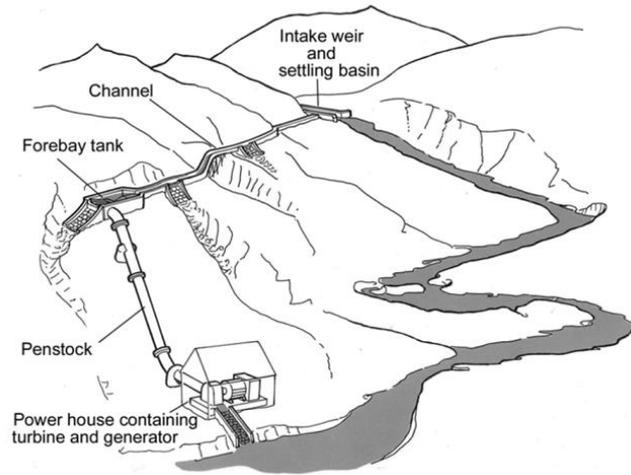


Fig.2-11: Schema di un impianto idroelettrico.

2.2.2. Tipologie di impianti idroelettrici nel bacino idrografico del torrente Slizza.

Gli impianti idroelettrici possono essere classificati:

- In funzione dell'entità del salto in:
 - i. Impianti a basso salto se $\Delta z < 50 m$;
 - ii. Impianti a medio salto se $50 \leq \Delta z < 250 m$;
 - iii. Impianti ad alto salto se $250 \leq \Delta z < 1000 m$;
 - iv. Impianti ad altissimo salto se $\Delta z > 1000 m$

- In funzione del funzionamento in:
 - i. Impianti con riserva d'acqua;
 - ii. Impianti con sistema di generazione/pompaggio;
 - iii. Impianti ad acqua fluente;

- In funzione delle dimensioni dell'impianto in:
 - i. Grande idroelettrico;
 - ii. Piccolo idroelettrico (o *Mini-Hydro*)

Di seguito si esegue una descrizione della tipologia di impianto che sarà direttamente interessato dall'elaborato che, secondo queste ultime due classificazioni, sarà il piccolo idroelettrico ad acqua fluente.

Dal punto di vista del funzionamento gli impianti idroelettrici ad acqua fluente sono quelli in cui non vi è accumulo d'acqua, nei quali quindi non si interrompe il movimento della massa d'acqua ma si sfruttano direttamente i salti naturali/artificiali presenti lungo il suo corso (Fig.2-12); in essi:

- l'opera di sbarramento è sicuramente una traversa che talvolta può anche essere una briglia di difesa;
- l'opera di presa è generalmente composta da uno sfioratore laterale;

- le opere di convogliamento delle acque, solitamente canali a pelo libero, hanno lunghezze molto ridotte in quanto solitamente l’edificio di centrale si trova sulla traversa stessa o comunque nei pressi della presa;
- A meno di utilizzi a cascata in altri impianti anche la restituzione, solitamente realizzata con una condotta di scarico terminante con diffusore, è immediatamente eseguita nella stessa sponda di presa e quindi ne segue che questi impianti avranno tratti sottesi brevi.

Rispetto agli altri tipi di impianti, quelli ad acqua fluente hanno lo svantaggio non possedere nessuna capacità di regolazione e quindi di “immagazzinamento” dell’energia elettrica ma daranno una produzione “continua” dipendente dalla portata derivata quindi dal regime idrologico del corso d’acqua e dal salto che sarà sicuramente inferiore rispetto agli altri impianti finanche ad essere nulla nei periodi di magra. Tuttavia le stesse caratteristiche rendono questa tipologia di impianti maggiormente realizzabile sul territorio, sia per le condizioni richieste sia per il minor impatto prodotto.

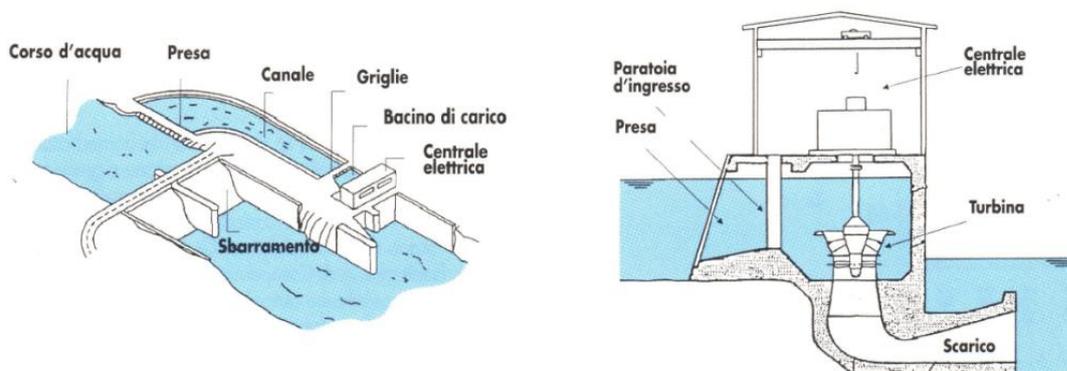


Fig.2-12: Schema di un impianto idroelettrico ad acqua fluente.

Pertanto, rifacendosi alle classificazioni degli impianti, quelli ad acqua fluente saranno generalmente degli impianti di piccole dimensioni a basso salto appartenenti al cosiddetto *idroelettrico minore* o *Mini-hydro*, entrambi termini coi quali si intendono tutti quegli impianti caratterizzati da modeste potenze inferiori ad una certa soglia assunto per convenzione.

In Italia tale valore limite è stato fissato a 3 MW dall’AEEG (*Autorità per l’Energia Elettrica e il Gas*). Tuttavia di norma si fa riferimento alla classificazione proposta dall’UNIDO (*United Nations Industrial Development Organization*) che è adottata anche dalla CE, UNIPED (*Unione Internazionale dei Produttori e Distributori di Energia Elettrica*) e dall’ESHA (*European Small Hydro Association*).

In questa classificazione il limite è fissato a 10 MW e si individuano i seguenti impianti di taglia minore

- Piccoli impianti se $P_e < 10 \text{ MW}$;
- Mini impianti se $P_e < 1 \text{ MW}$;
- Micro impianti se $P_e < 100 \text{ kW}$;
- Pico impianti se $P_e < 5 \text{ kW}$.

Come si è già accennato nei paragrafi precedenti l’aumento della produzione idroelettrica nel territorio nazionale è possibile solo per questa tipologia di impianti nei quali ricadono quelli ad acqua fluente o gli impianti realizzati su sistemi di distribuzione idrica.

2.2.3. Opere di una derivazione.

All’inizio del paragrafo 2.1. si è riportata la definizione “giuridica” di derivazione idrica ed alcune sue classificazioni; dal punto di vista prettamente ingegneristico invece non esiste una classificazione di questi manufatti che, come già accennato, saranno generalmente costituiti dalle seguenti opere:

- opere di sbarramento;
- opere di presa;
- opere di convogliamento.

Come accennato in precedenza, di seguito si propone una breve descrizione di questi manufatti concentrandosi esclusivamente sulle tipologie presenti nel bacino idrografico del torrente Slizza che verranno trattate anche nel proseguo del lavoro di tesi.

2.2.3.1. Opere di sbarramento.

Le opere di sbarramento sono quei manufatti trasversali che si oppongono al flusso della corrente favorendo la presa ed eventualmente l'invaso in una capacità.

Al paragrafo 2.2.1 si è già detto che queste possono essere dighe o traverse fluviali; le prime utilizzate negli impianti con riserva mentre le seconde in quelli ad acqua fluente. Visto che nel proseguo dell'elaborato non si tratteranno impianti con riserva si procede alla descrizione delle sole traverse fluviali.

Le traverse fluviali, come da definizione, a differenza delle dighe non producono alcun vaso o al più uno che può compensare della variabilità dei deflussi nell'arco delle 24 ore ma hanno la funzione di generare un rigurgito contenuto in alveo, quindi un innalzamento del pelo libero a monte al fine di alimentare l'opera di presa.

Questo stesso principio è alla base del funzionamento delle briglie selettive che a differenza delle traverse hanno la funzione di controllare il livello del fondo anziché quello del pelo libero.

Si intuisce quindi che, dove necessario, ossia solitamente nei torrenti montani, ambedue le funzioni possono essere svolte dallo stesso manufatto, necessariamente fisso, che in tal caso verrà chiamato solamente briglia.

Si precisa che questo criterio di nomenclatura viene adottato anche nella tabella in Appendice C dove per *Traversa* si intende il manufatto che non svolge funzione di difesa, altrimenti si troverà *Briglia*.

Naturalmente esistono numerose tipologie di traverse che possono essere fisse, mobili e precarie; tuttavia si fornisce una breve descrizione solamente delle traverse *fisse-semplifici* in quanto risulta l'unica coinvolta nel proseguo dell'elaborato.

Anzitutto si intende per traverse fisse quelle prive di organi di regolazione del livello idrico a monte come ad esempio paratoie; esse sono tipiche dei corsi d'acqua montani in cui spesso svolgono anche la funzione di briglia di difesa ma in questo caso:

- bisogna evitare che il materiale che si deposita a monte ostruisca la presa;
- lo sbarramento può essere trascinata dalla corrente e quindi bisogna prevedere appositi sistemi di protezione dallo scalzamento al piede.

Per *semplifici* si intendono le classiche opere trasversali sporgenti e trascinabili, generalmente in muratura o pietrame cementato, che opponendosi al deflusso originano un dislivello tra i peli liberi di monte e valle detta capacità di vaso (Fig.2-13(a)).

Queste possiedono quasi sempre asse rettilineo ortogonale al corso d'acqua; tuttavia, indipendentemente dalla loro forma/profilo, specifica di ogni progetto, sono tutte dotate di petto subverticale a monte, di scarpa inclinata a valle, di una soglia sub-orizzontale che, a seconda della lunghezza desiderata può essere ad asse rettilineo o curvilineo, ed eventualmente di un rialzo in legno per aumentare la capacità di vaso (Fig.2-13(b)). Questi manufatti, come le briglie, si progettano considerando gli effetti che producono sul profilo della corrente e sul trasporto solido; in particolare onde evitare l'interrimento a monte si dota lo sbarramento di una paratoia sghiaiatrice (detta callone) o di più cacciate che possono essere aperte per consentire il trasporto del sedimento.

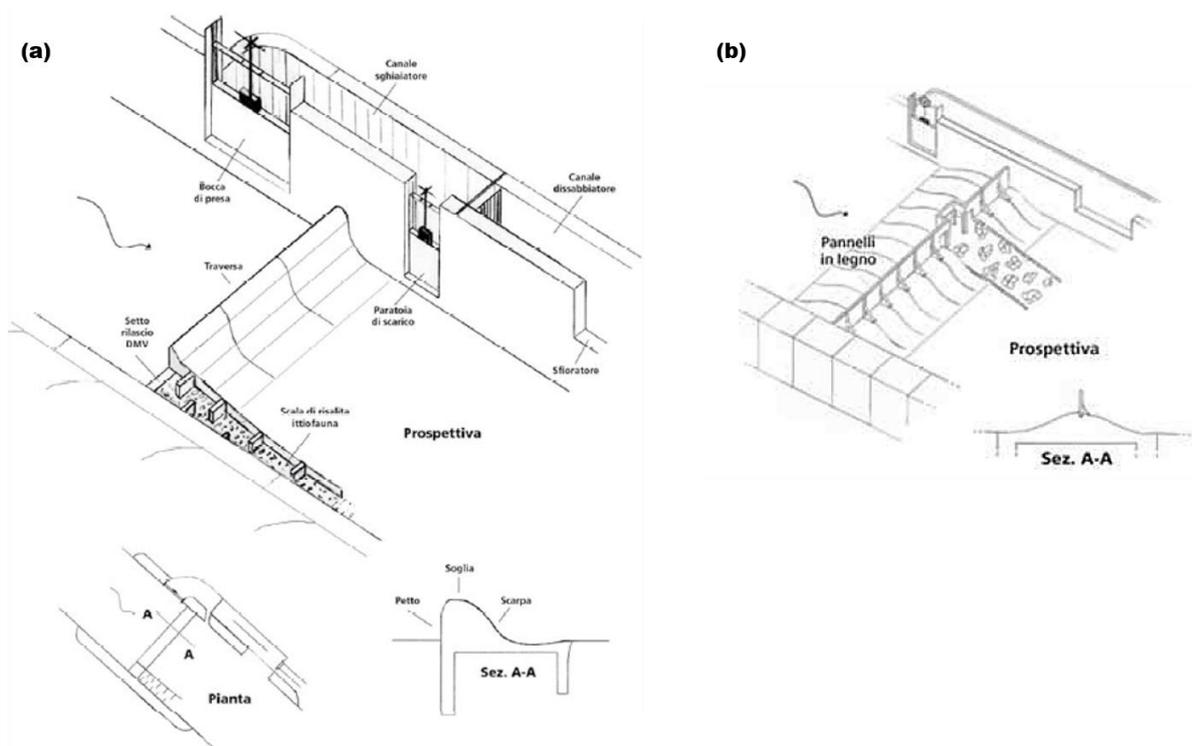


Fig.2-13: Schema di una traversa fissa senza (a) e con rialzo (b).

2.2.3.2. Opere di presa nel bacino idrografico del torrente Slizza.

Per opere di presa si intende quell'insieme di manufatti dedicati alla:

- sottrazione di una certa portata dal corso d'acqua;
- chiarificazione della portata sottratta, ossia all'allontanamento della frazione solida.

Questo implica che saranno opere strettamente legate alle caratteristiche idrologiche, geomorfologiche e di trasporto solido del corso d'acqua.

La tipologia di queste opere si differenzia in funzione dell'uso della derivazione soprattutto a causa del grado di limpidezza richiesto alla portata sottratta che è solitamente alto per usi idroelettrici mentre più basso per usi irrigui.

Gli elementi che compongono la presa sono:

- la bocca di presa, ossia la sezione oltre la quale la portata si allontana dall'alveo. Essa è realizzata con una o più luci di ingresso che possono essere poste sulla sponda, in alveo o direttamente sulla traversa se derivante o a trappola. Il parametro di progetto fondamentale che le caratterizza è la quota di inserimento in quanto da essa dipendono la quantità e la qualità di acqua prelevata;
- le opere di filtraggio, atte ad eseguire la grigliatura delle acque ossia l'eliminazione dei sedimenti grossolani e dei corpi galleggianti quali ad esempio foglie e rami. Queste sono comunemente realizzate con griglie o sgrigliatori automatizzati con meccanismo a pettine posti in corrispondenza della bocca di presa;
- bacini/canali di calma o di sedimentazione atti a completare il processo di chiarificazione eliminando le frazioni più fini e sospese. Essi generalmente si realizzano posizionando in sequenza un bacino sghiaiatore e uno dissabbiatore aventi dimensioni tali da rallentare la corrente in modo da consentire il deposito della frazione solida, nel primo più grossa che nel secondo. Ovviamente saranno dotati di scaricatori di fondo per allontanare il materiale accumulato.
- dispositivi di regolazione delle portate derivate, per "adattare" la bocca di presa al regime idrologico del corso d'acqua. Solitamente questi sono paratoie e/o sfioratori.

2.2.3.3. Opere di convogliamento.

Per opere di convogliamento si intendono quelle in cui viene immessa la portata sottratta dall'opera di presa e in cui essa viene condotta sino al suo punto di utilizzo.

Al solito la tipologia di queste opere dipende essenzialmente dall'uso della derivazione e dalla morfologia del territorio; in particolare si utilizzano:

- canali a pelo libero, in terra o prefabbricati, se l'uso è irriguo o comunque se non vi sono grossi dislivelli tra le sezioni di presa e restituzione;
- condotte, metalliche o plastiche, con funzionamento totalmente o parzialmente in pressione, se non si ricade nei casi precedenti;
- soluzioni alternative, in casi particolari come ad esempio gallerie in roccia, trincee in pendii, ponti-canale che solitamente si realizzano per superare corsi d'acqua, valli o per conservare il salto.

2.3. Impatto ambientale di una derivazione idrica

Come già accennato la realizzazione di una derivazione idrica ad usi idroelettrici, comporta come molte altre opere un'artificializzazione del corso d'acqua, e quindi produce inevitabilmente un impatto ambientale sul territorio circostante che viene generalmente definito nella L.R. 7-09-1990, n.43 come *l'insieme degli effetti diretti, indiretti, secondari, cumulativi, sinergici, a breve, medio e lungo termine, permanenti e temporanei, a piccola e grande distanza, positivi e negativi indotti da un insieme o da singoli interventi sull'ambiente.*

Ribadendo nuovamente quello che verrà sviluppato più in dettaglio nei successivi capitoli si può affermare che, negli ultimi anni, quello della tutela dell'ambiente è diventato un tema di elevata importanza a cui è seguita una intensa legiferazione a tutti i livelli, ossia di Comunità Europea, Nazionale e Regionale, che ha toccato praticamente tutte le attività umane inserendo nuovi concetti o precisandone altri già noti.

In particolare, per quanto riguarda le opere ingegneristiche, esse vanno affiancate anche da una *Valutazione di Impatto ambientale - VIA* che ne dimostri la compatibilità ambientale quantificandone l'impatto secondo dei criteri normati, nel caso specifico sempre dalla suddetta Legge regionale, e che verrà a sua volta valutata dalle autorità competenti.

Nella VIA verranno valutati gli effetti dell'opera sull'uomo, la fauna, la vegetazione, il suolo, l'acqua, l'aria, il clima, il paesaggio, i beni materiali, il patrimonio storico-culturale, l'ambiente socio-economico. Diventa quindi fondamentale adeguare l'opera senza alterarne notevolmente i costi di realizzazione in modo da ridurre gli effetti, poiché questi potrebbero comprometterne l'accettazione.

Per quanto riguarda le derivazioni idriche l'entità del loro impatto dipende:

- dalla soluzione tecnologica utilizzata, ossia dal tipo di manufatti che la compongono che dipende fortemente dalla tipologia dell'impianto idroelettrico a cui appartiene la derivazione;
- dalle dimensioni dell'impianto;
- dall'area di realizzazione dell'opera. Questa sia in termini di "valore" naturalistico di quella zona sia in termini geo-morfologici che sostanzialmente influenzano poi le scelte tecnologiche. Ad esempio in territori montani che consentono la realizzazione impianti con salti elevati saranno presenti tratti sottesi più elevati e quindi un'area maggiore in cui è stata sottratta la portata;
- dal fatto che il progetto sia nuovo o un potenziamento dell'esistente.

Quindi nel caso specifico delle derivazioni nel bacino del torrente Slizza è evidente che l'impatto è sicuramente non trascurabile in quanto si è già visto che vi è un numero elevato di derivazioni in alcuni casi legate a tratti sottesi anche chilometrici.

Inoltre si è in un territorio con elevato valore ambientale in termini di paesaggio, fauna e flora.

Più in dettaglio, oltre agli inevitabili impatti che si generano in fase di costruzione, gli impatti ambientali dovuti ad una derivazione idroelettrica in esercizio possono essere suddivisi in (ESHA, 2007):

- Impatto acustico, causato dalle macchine, specialmente turbine e moltiplicatori, dell'edificio di centrale;

- Impatto morfologico, in quanto vi è una modifica del regime idrologico, talvolta delle velocità e del trasporto solido del corso d'acqua;
- Impatto paesaggistico, in quanto qualunque componente introduce nuove linee, forme e colori che modificano l'impatto visivo del paesaggio originale. Pertanto, limitando i costi aggiuntivi sebbene sia un impatto molto sentito, queste "novità" vanno mascherate attraverso:
 - o Rinaturalizzazione con utilizzo della vegetazione;
 - o Utilizzo di materiali e forme che meglio si adeguano al territorio circostante.
- Impatto biologico, dovuto alla eventuale compromissione di alcuni processi/funzioni ecologiche dell'ecosistema fluviale e/o di bacino.

Proprio quest'ultima tipologia di impatto sarà l'oggetto principale di questo elaborato e quindi si intende introdurre già in questo capitolo alcuni elementi che verranno poi discussi in maniera più dettagliata nel paragrafo 6.1 del presente elaborato. Le cause di questo impatto ad opera di una derivazione sono essenzialmente due, dovute alla presenza dell':

- opera di sbarramento che potrebbe impedire i vari processi di interscambio organico e non ed il passaggio fisico della fauna ittica che stagionalmente risale il corso d'acqua. Questa problematica trova soluzione nella realizzazione dei passaggi per ittiofauna e verrà abbondantemente discussa nel capitolo seguente relativo alle briglie (si veda paragrafo 3.2.3);
- opera di presa che varia la portata del corso d'acqua alterandone la naturale dinamica stagionale alla quale sono legati cicli biologici vitali che nei casi più estremi potrebbe raggiungere valori da non poter più garantire la proliferazione della vita ecologica e/o l'autodepurazione del corso d'acqua stesso.

Più nel dettaglio, gli effetti dovuti ad una riduzione di portata possono essere riassunti come nel seguente schema (Fig.2-14) nel quale è fondamentale sottolineare la distinzione tra gli impatti diretti immediatamente imputabili alla sottrazione di portata ed indiretti dovuti a fenomeni terzi dei quali la riduzione di portata è causa innescante.

In realtà la situazione è molto più complessa di quella riportata nello schema precedentemente citato in particolare per quanto concerne l'impovertimento faunistico al quale la sottrazione di portata può contribuire in varie maniere ed in via non esclusivamente diretta; tuttavia per farlo è necessario introdurre elementi di ecologia fluviale e quindi si preferisce rimandare l'approfondimento ai capitoli successivi. Per il momento ci si limita ad affermare che mitigazione del rischio dovuto ad una eccessiva riduzione di portata viene svolta attraverso l'obbligo di rilascio del Deflusso Minimo Vitale.

Alla luce di quanto appena detto è ovvio che gli impianti con riserva d'acqua producono un maggior impatto biologico rispetto a quelli ad acqua fluente in quanto solitamente:

- sono di grande taglia e prevedono derivazioni da più corsi d'acqua;
- prevedono la realizzazione di sbarramenti di grandi dimensioni;
- prevedono lo sfruttamento di grossi salti e quindi maggiore lunghezza dei tratti sottesi;
- al contrario di quelli ad acqua fluente il funzionamento non è continuo ma il rilascio della portata avverrà solo nelle fasce in cui vi è maggior richiesta. Questo comporta che nelle fasce di accumulo vi siano portate molto basse mentre in quelle di rilascio delle portate molto elevate; in entrambi i casi si avrà uno squilibrio rispetto alle condizioni normali dell'ecosistema.

Ad esempio è stato dimostrato (CE, 1995) che il tempo che intercorre tra due rilasci consecutivi dal serbatoio non è tale da compromettere la sopravvivenza delle uova ma avrà comunque ripercussioni sullo sviluppo dei pesci.

- l'invaso di notevoli quantità d'acqua può produrre variazioni di temperatura locali che sfavoriscono alcune funzioni ecologiche.

Quasi tutte le problematiche esposte si riscontrano anche nelle altre tipologie di impianti sebbene in maniera ridotta al decrescere della loro taglia.

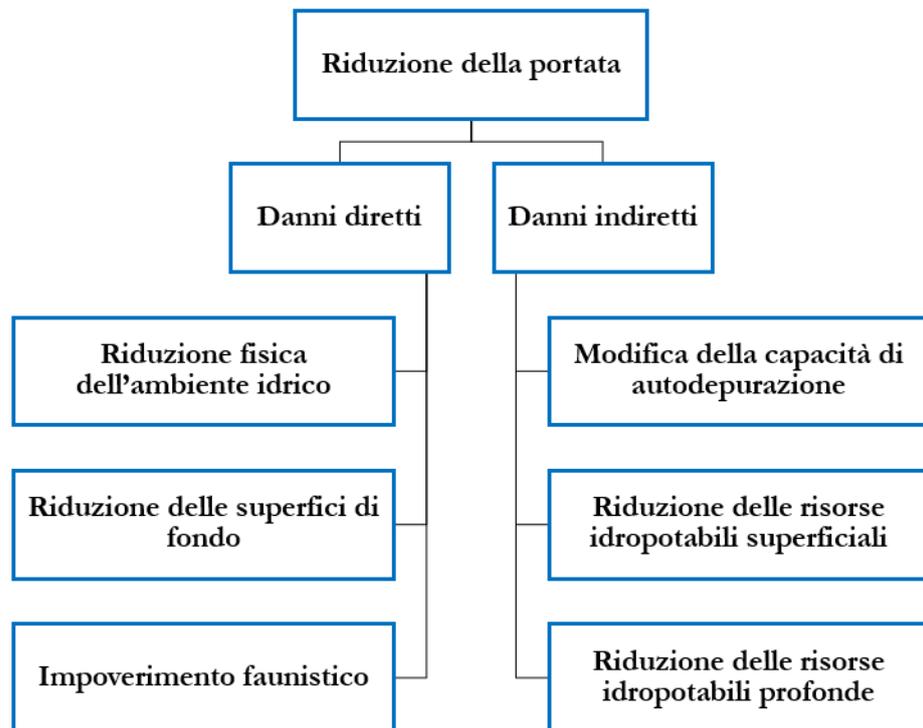


Fig.2-14: Effetti generici prodotti da una riduzione di portata (ridisegnato da Crovatto, 2006).

2.4. Descrizione dei manufatti per le derivazioni nel bacino idrografico del torrente Slizza.

Sul bacino in esame è stato svolto un sopralluogo mirato ad incrementare la conoscenza ed acquisire una maggiore confidenza col contesto territoriale che lo caratterizza, dove si sviluppano le aste principali del reticolo idrografico e con i vari manufatti di ingegneria presenti su di esse.

Per quanto riguarda le opere oggetto di questo capitolo, ossia quelle di derivazione, rifacendosi alle classificazioni appena discusse nei paragrafi precedenti, il sopralluogo ne ha evidenziato una variabilità tipologica praticamente nulla ed anzi, in alcuni casi, è stata riscontrata una sistematica ripetitività di molti dei suddetti manufatti.

Quanto appena osservato è diretta conseguenza sia del fatto che queste opere sono consolidate dal punto di vista tecnico sia del fatto che spesso i sistemi derivativi sono realizzati lungo tratti di aste con caratteristiche circa omogenee; per cui è ovvio che le maggiori differenze si riscontrano soprattutto considerando aste di ordine e caratteristiche idrologiche-geomorfologiche diverse.

Ai sensi delle classificazioni riportate in precedenza è possibile affermare che la maggioranza delle derivazioni presenti nel bacino idrografico dello Slizza possiedono:

- gli sbarramenti realizzati con traverse fisse semplici in calcestruzzo armato rivestito in pietrame più o meno lavorato. Come si vedrà nel capitolo successivo questi manufatti possiedono dimensioni maggiori lungo le aste principali dove in alcuni casi sono briglie che vennero costruite per svolgere la primaria funzione di difesa mentre dimensioni più ridotte lungo le aste minori dove non svolgono controllo del fondo.

A titolo di esempio nelle figure successive si riportano gli sbarramenti relativi a due derivazioni, una lungo il torrente Slizza (Fig.2-15) realizzata in corrispondenza di una briglia completamente interrta ed una lungo il Rio del Lago di Fusine (Fig.2-16). Per prima cosa, considerando la diversa età delle due opere appena riportate, la briglia sullo Slizza è del 1960 mentre la derivazione sul Rio del Lago è stata parzialmente ricostruita pochi anni fa, sebbene i materiali di costruzione siano gli stessi, le figure mostrano in maniera evidente la differente entità del loro impatto sull'ambiente circostante sia in termini visivi che in termini di interruzione della continuità fluviale che deriva dall'altezza, dalla fattura del corpo

sbarramento, del dispositivo di rilascio del Deflusso Minimo Vitale e della scala di risalita per i pesci, a testimonianza di come sia maturata la sensibilità ambientale negli anni.

Sempre dalle figure si notano le differenze dei due tratti interessati dalle derivazioni; nel primo caso a bassa pendenza, con sezione larga e sponde rocciose indispensabili per un adeguato ancoraggio delle briglie mentre sul Rio del Lago si hanno pendenze elevate, sezioni di larghezza ridotta e sponde in materiale sciolto.

Un ulteriore ed interessante esempio è quello della derivazione posta sul lago inferiore di Fusine (Fig.2-17). Anche questa di recente ristrutturazione ed al momento non alimentante nessuna centrale idroelettrica funzionante dove la continuità del deflusso attraverso la piccola traversa fissa dovrebbe essere assicurata attraverso una scala di risalita a bacini successivi estremamente impattante in quanto monolitica e molto sporgente in alveo oltreché di dubbio funzionamento vista l'entità dei salti e velocità della corrente causata dalla ridotta larghezza.

Si precisa che ovviamente quest'ultima considerazione può essere estesa anche alla scala di rimonta realizzata sul torrente Slizza (Fig.2-15) che, sebbene possa apparire come una prosecuzione del versante in destra idrografica, possiede un ingombro longitudinale per realizzare pendenze non elevate, e trasversale dettato in parte dalla geometria del versante e forse anche per "obbligare" i pesci alla risalita non indifferente.

Inoltre si nota dalla fotografia (scattata in data 5/11/17) che, in periodo di forte secca, il passaggio non rilascia alcuna portata e quindi sicuramente non avrà un funzionamento in continuo; cosa che non si può dire per le altre opere, essendo le immagini contemporanee.

In tal senso l'unico passaggio per pesci che sembrerebbe funzionante in modo ottimale, sia dal punto di vista idraulico che di inserimento, è quello realizzato sulla derivazione di Fig.2-16;

- tratti sottili che sono inversamente proporzionali alla dimensione dello sbarramento; si riscontrano infatti impianti puntuali in corrispondenza delle grandi briglie mentre sistemi più lunghi e articolati sono realizzati con piccoli sbarramenti.

Si ritrova conferma negli esempi precedentemente citati dove la lunghezza sottesa è molto ridotta nel caso di questa derivazione lungo lo Slizza mentre molto più lunga nel sistema derivativo del Rio del Lago.

Per i restanti manufatti delle derivazioni è possibile eseguire una descrizione generale essendo sostanzialmente analoghi in tutti i sistemi derivatori osservati dove ovviamente restano le differenze di scala a seconda dell'ordine dell'asta su cui insistono.

- le bocche di presa (Fig.-18) realizzate da una singola luce dotata di griglia per filtraggio del materiale flottante ed in tutti i casi seguite da sgrigliatori automatizzati con meccanismo a pettine. Queste sono sempre posizionate sulle sponde immediatamente a monte dello sbarramento mentre sul corpo di quest'ultimo si individuano altri manufatti come ad esempio le cabine di controllo e le paratoie di scarico; quest'ultime sempre verticali, metalliche ed automatizzate.

- la restituzione a valle delle centrali di produzione è realizzata sempre mediante gallerie scatolari in calcestruzzo armato sul medesimo lato della presa; come tipico degli impianti ad acqua fluente queste si trovano a breve distanza dallo sbarramento.

Questa condizione si verifica in tutte le derivazioni osservate sul torrente Slizza, nelle quali, considerando che il sopralluogo è stato preceduto da un periodo siccitoso, la portata rilasciata risulta essere fortemente avvertibile in alveo e pertanto potrebbe essere un potenziale disturbo al funzionamento delle opere di risalita costruite su sponda opposta. Sono presenti anche soluzioni differenti come ad esempio la derivazione sul Rio del Lago discussa in precedenza essendo stata progettata per raggiungere la centrale attraverso una condotta forzata.



Fig.2-15: Briglia di sbarramento di 7 m, canale di restituzione e passaggio per pesci di tipo *fish ramp* asciutto in corrispondenza della derivazione ID:497 alimentante l'impianto di "Plezzut nuova 3" lungo il Torrente Slizza.

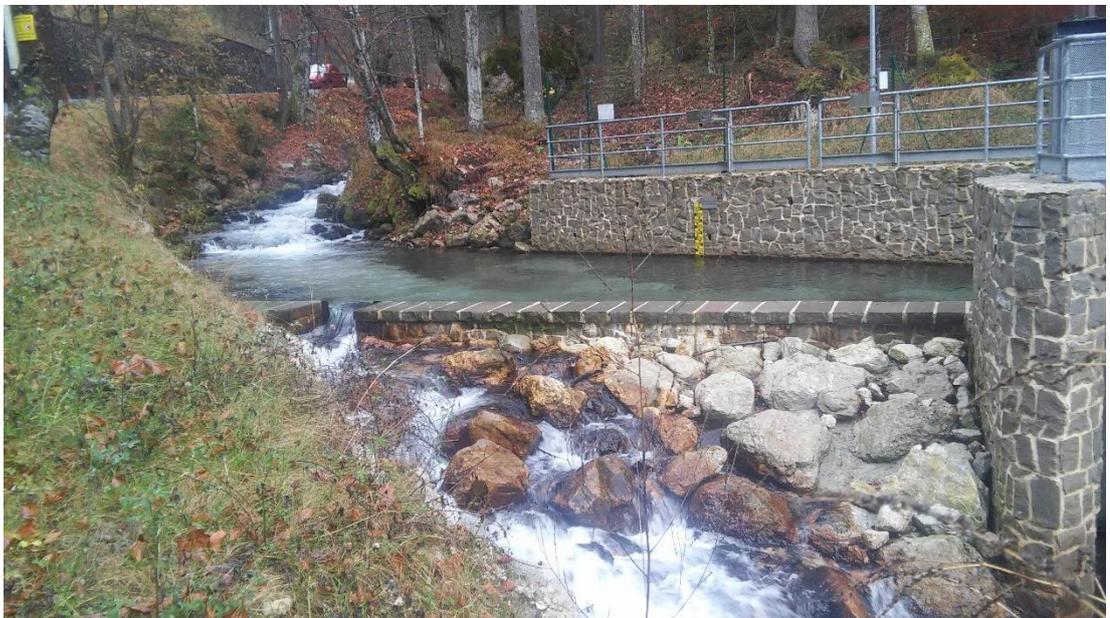


Fig.2-16: Traversa di sbarramento (inferiore a 2 m) dotata di scala rustica per la risalita dei pesci in corrispondenza della derivazione sul Rio del Lago a servizio della Centrale 2^a



Fig.2-17: Derivazione sul Lago Inferiore di Fusine.



Fig.2-18: Bocca di presa dotata di griglia e paratoia di scarico su corpo briglia in corrispondenza della derivazione ID:497 alimentante l'impianto di "Plezzut nuova 3" lungo il Torrente Slizza.

Appendice C – Opere di presa realizzate nel bacino idrografico dello Slizza

(N, E) ⁽⁰⁾	ID_SIS ⁽¹⁾	ID_P ⁽²⁾	Descrizione	Stato di Utilizzo ⁽³⁾	Q _m	Q _{min}	Q _{max}	Scala ⁽⁴⁾	Obbligo ittigenico ⁽⁵⁾	Uso ⁽⁶⁾	Concessione ⁽⁷⁾
[m]	-	-	-	-	[l/s]	[l/s]	[l/s]	-	-	-	-
(2408658.4, 5146848.5)	IDR2385	977		C	260	50	500			IDE	2
(2413269.9, 5152873.14)	IDR3073	927	Traversa in muratura pietrame	P	310	150	490		0	IDE	2
(2413282.9, 5152869.5)	IDR3143	1097	Traversa	C	160	0	0		2	IDE	1
(2415313.1, 5150193.4)	IDR3149	408	Traversa	C	1760	0	2000			IDE	1
(2417891.4, 5149861.5)	IDR3161	701	-	C	638	0	820			IDE	2
(2418242.5, 5148843.5)	IDR3161	703		C	638	0	820			IDE	2
(2411638.0, 5150011.7)	IDR3167	493	Briglia	C	1383.4	2200	6000	0		IDE	2
(2411643.5, 5149815.2)	IDR3167	495	Briglia	C	1383.3	2200	6000	1	0	IDE	2
(2412061.0, 5150742.8)	IDR3167	497	Briglia	C	1383.3	2200	6000	1	0	IDE	2
(2411148.5, 5148893.9)	IDR3171	1469		C	43	0	1250		0	IDE	2
(2410933.4, 5148454.9)	IDR3171	1472		C	43	0	1250		0	IDE	2
(2409742.9, 5147208.3)	IDR3171	675	Traversa	C	700	0	1400			IDE	2
(2409742.9, 5147208.3)	IDR3171	674	Traversa	C	700	0	1400			IDE	1
(2410239.2, 5146715.4)	IDR3171	433	Traversa	C	1600	0	1700		2	IDE	2

(2410239.1, 5146715.4)	IDR3171	435	Traversa	C	1600	0	1700		2	IDE	1
(2411148.5, 5148893.9)	IDR3171	1463		C	43	0	1250		0	IDE	1
(2410933.4, 5148454.9)	IDR3171	1473		C	43	0	1250		0	IDE	1
(2415853.4, 5148574.5)	IDR3208	1293	Briglia	P	80	0	140	1		IDE	2
(2413316.0, 5148353.8)	IDR3258	921	Traversa	P	319	160	800	1	0	IDE	1
(2413492.5, 5151964.7)	IDR3261	195	Traversa	P	4420	1490	8200	1	0	IDE	2
(2411525.4, 5150164.0)	IGI2085	1819		C	20		20			IGI	1
(2410508.5, 5151003.4)	IND3266	879	Traversa	S	350	0	0	0	2	IND	1
(2417891.3, 5149860.5)	IND6388	1704	Centrali idroelettriche Skiarea Miara, Rio del Lago.	C	23.35		46.7	0		IND	1
(2411650.9, 5149836.2)	IRS6538	2723		S	2		2			IRR	2
(2408617.6, 5146843.4)	POT4972	1822		C	20		20			POT	1
⁽⁰⁾ Coordinate cartografiche Gauss – Boaga, fuso Est											
⁽¹⁾ Codice del sistema derivatorio											
⁽²⁾ Codice della presa idroelettrica											
⁽³⁾ C Continuativo; S Saltuario; E Esistente ma non usata; R Rinunciata; D Demolita; P In progetto											
⁽⁴⁾ 1 Realizzata; 0 Non realizzata											
⁽⁵⁾ 1 Obbligo ittiogenico previsto ma non quantificato; 0 In seguito ad accertamenti si è stabilito di non imporre alcun obbligo; 2 Al momento della concessione non era previsto alcun obbligo, ma è da verificare la sua possibile attuazione in relazione alla situazione attuale											
⁽⁶⁾ IDE: Idroelettrico; IND: industriale; IGI: Igienico; IRR: Irriguo; POT: Potabile											
⁽⁷⁾ 0 archiviata; 1 attiva; 2 istruttoria											

Appendice D - Censimento degli impianti idroelettrici presenti nel Tarvisiano realizzato incrociando i dati del catalogo IRDAT con quelli del Programma Interreg IV* Italia – Austria 2007-2013

(N, E) ⁽⁰⁾	ID_SIS ⁽¹⁾	Asta/località	Nome impianto	Proprietario	H_s ⁽²⁾	H_i ⁽³⁾	Δz ⁽⁴⁾	P_n ⁽⁵⁾	H_p ⁽⁶⁾	H_r ⁽⁷⁾
[m]					[m slm]	[m slm]	[m]	[kW]	[m slm]	[m slm]
(395829.3, 5153793.2)	IDR3261	T. Slizza/Coccau	-	I.G.F. SpA - Idroelettriche Gestioni Friulane	-	-	52.70	2205.67	687.00	604.00
(393665.7, 5149468.2)	IDR3258	R. Bianco	"Rio Bianco"	Alpi energia srl	870.00	826.50	43.50	146.24	872.50	825.00
(395582.2, 5149619.2)	IDR3208	R. Nero	"Rio Nero"	Plosch Walter	918.76	762.70	156.06	121.10	919.60	764.50
(391382.8, 5149224.9)	IDR3171	T. Slizza/Plezzut	"Plezzut"	Giovanni Vignuda Spa	-	-	74.33	1707.40	-	735.00
(390085.7, 5144121.5)	IDR3171	R. del Lago Raibl/miniera	"Centralina XII Livello minerario"	Cividale Spa	-	-	-	353.69	-	-
(390254.8, 5146890.8)	IDR3171	R. del Lago Raibl	"Muda"	Cividale Spa	-	-	21.50	337.26	833.75	810.60
(390238.1, 5147254.9)	IDR3171	R. Freddo	"Rio Freddo"	Cividale Spa	-	-	32.60	223.73	853.19	822.00
(392051.3, 5150734.7)	IDR3167	T. Slizza/V. Manzoni	"Plezzut nuova 3"	Company Slizza Srl	-	-	7.50	311.93	706.00	-
(391621.9, 5149796.3)	IDR3167	T. Slizza/Rutte	"Plezzut nuova 1"	Company Slizza Srl	-	-	8.50	311.93	737.90	-
(391635.9, 5150016.8)	IDR3167	T. Slizza/Rutte	"Plezzut nuova 2"	Company Slizza Srl	-	-	7.00	311.93	726.00	-
(397915.0, 5149728.1)	IDR3161	R. del Lago Fusine	"Seconda"	Skiarea Miara srl	-	-	66.22	414.20	851.00	784.55
(397843.9, 5149963.2)	IDR3161	R. del Lago Fusine	"Quarta"	Skiarea Miara srl	-	-	21.77	134.92	784.06	762.29
(394180.4, 5151473.2)	IDR3149	R. Bianco	"S. Antonio"	Sied Spa	-	-	43.38	749.00	726.45	677.50
(393289.4, 5152834.2)	IDR3143	R. dei Carri	"La segheria"	Martinz Giuseppe	-	-	6.60	10.35	-	-

(393832.3, 5152696.4)	IDR3073	T. Slizza	"Slizza"	-	726.80	645.60	81.20	246.00	-	645.60
(389440.0, 5147154.8)	IDR2385	R. Freddo/T. Cacciatore	-	EN.RI.COM. srl	-	-	74.50	192.20	-	-
(24115174, 5153500)	-	T. Slizza	-	-	-	-	-	2946.00	-	-
(2414405, 5149627)	-	R. Bianco	-	-	-	-	52.00	2945.00	-	-
(2410047, 5142563)	-	R. del Lago Raibl	-	-	-	-	-	731.00	924.00	748.00
(2413345, 5148342)	-	R. Bianco Superiore	-	-	-	-	-	591.00	871.00	728.00
(2413351, 5151924)	-	T. Slizza	-	-	-	-	-	585.00	-	-
(2414617, 5153171)	-	T. Slizza	-	-	-	-	-	424.00	-	-
(2408640, 5151953)	-	C. Bartolo	-	Comunità montana	-	-	-	293.00	-	-
(2418285, 5148481)	-	R. del Lago Raibl	-	-	-	-	-	137.00	-	-
(2409724, 5150792)	-	T. Lussari/Camporos so	-	-	-	-	106.00	59.00	952.00	846.00
(2403078, 5153969)	-	R. Filza	-	Herlinch Nicolò	-	-	75.00	12.00	-	-
⁽⁰⁾ Coordinate cartografiche Gauss – Boaga, fuso Est (se * sono in UTM-33)										
⁽¹⁾ Codice del sistema derivatorio										
⁽²⁾ H_s Pelo morto superiore; ⁽³⁾ H_i Pelo morto inferiore; ⁽⁴⁾ Δz salto concessione; ⁽⁵⁾ P_n potenza nominale; ⁽⁶⁾ H_p quota prelievo; ⁽⁷⁾ H_r quota restituzione										

3. LE BRIGLIE DI DIFESA IDRAULICA DELLE ASTE FLUVIALI.

In questo capitolo, sempre operando una riduzione di scala spaziale sino a quella di bacino, vengono descritte le opere di difesa trasversali prevalentemente identificabili con le briglie. Dopo aver introdotto il tema del dissesto idrogeologico, tra gli interventi di mitigazione strutturali vengono trattate le briglie di consolidamento delle quali, dopo la breve descrizione teorica, si analizza la distribuzione a scala di bacino e si introducono gli impatti ambientali. Il capitolo si conclude descrivendo i casi in cui nel bacino dello Slizza tali opere sono state successivamente utilizzate per fini idroelettrici.

3.1. Il problema del dissesto idrogeologico.

3.1.1. Aspetti generali del problema

Come già accennato nel primo capitolo del presente elaborato, una caratteristica fondamentale ed intrinseca di un bacino idrografico è la sua geomorfologia; questa chiaramente non è invariante nel tempo ma muta in funzione dei numerosi processi naturali (e non) che coinvolgono sia i versanti sia gli alvei dei corsi d'acqua. Questi processi naturali sono molteplici e soprattutto possono essere distinti tra quelli circa continui nel tempo, come ad esempio i fenomeni erosivi, oppure discreti nel tempo, come ad esempio gli eventi pluviometrici, le piene e le frane che in ogni caso possono variare, sempre nel corso del tempo, la loro entità.

In maniera speditiva è possibile dire che i principali agenti morfo-evolutivi che interessano il bacino sono:

- le frane o più in generale i movimenti franosi;
- il trasporto solido dei corsi d'acqua;
- le piene dei corsi d'acqua.

Tutti questi fenomeni possono essere tra loro interconnessi ed hanno generalmente come causa comune i fattori meteorologici; tuttavia, sempre riallacciandosi al paragrafo 1.1 dell'elaborato, può esservi prevalenza di uno o dell'altro a seconda del contesto territoriale in cui ci si trova; un tipico esempio di questo si osserva nel fenomeno del trasporto solido dei torrenti che quindi possono essere suddivisi in:

- torrenti di scavo, se la loro capacità di trasporto è superiore rispetto all'apporto solido proveniente da monte. Per compensare tale squilibrio il torrente aumenta la sua portata solida erodendo il fondo;
- torrenti di deposito, se la loro capacità di trasporto è inferiore rispetto all'apporto solido proveniente da monte. Per compensare tale squilibrio il torrente deposita materiale al fondo.

Questa differenza di comportamento è ovviamente legata al contesto ambientale/territoriale e può portare alla nascita di problematiche molto diverse nel bacino.

Tornando ad un discorso generale, in un ambiente montano, che per definizione è caratterizzato da elevata acclività del terreno, si osservano principalmente:

- fenomeni di instabilità dei versanti che sfociano in frane di diverso tipo. Queste possono essere direttamente la causa di pericolo o indirettamente mettendo a "disposizione" materiale sciolto mobilizzabile;
- elevata presenza di materiale sciolto reso disponibile dalle frane, da processi esogeni e/o endogeni che mobilizzato dà luogo a fenomeni di colata;
- intenso trasporto solido lungo i torrenti che, sempre per acclività e/o a seguito delle precipitazioni, possiedono carattere erosivo; questo può comportare danni alle opere in alveo nonché instabilità delle sponde.

Negli ambienti di pianura invece, si osservano più facilmente:

- processi di deposizione del materiale sciolto trasportato dai corsi d'acqua con possibile sovralluvionamento dell'alveo;
- fenomeni di allagamento e tracimazione delle sponde talvolta favoriti dal sovralluvionamento appena citato.

Inevitabilmente in alcuni casi, come accade in larga parte nelle Alpi (Bischetti e D'Agostino, 2010), questi fenomeni si trovano ad interagire con le attività umane e sono proprio loro che, manifestandosi al di sopra di certe entità, rientrano nella definizione generica di “dissesto idrogeologico”, intendendo con questo termine, non definito nelle norme italiane, *qualsiasi disordine o situazione di squilibrio che l'acqua produce nel suolo e/o nel sottosuolo* (GNDCI - Gruppo Nazionale per la Difesa dalla Catastrofi Idrogeologiche, 1984).

Secondo questa logica, e come avvertono espressamente anche le varie direttive Europee, questo problema non può essere totalmente impedito ma l'obiettivo deve essere quello di limitarne, soprattutto in ottica futura e tenendo conto dei cambiamenti climatici, l'interazione con le attività umane attraverso azioni di previsione, prevenzione e mitigazione:

- la previsione consiste nello studio delle cause e dei meccanismi che generano gli eventi calamitosi di una determinata area. Le nozioni deriveranno dalla ricerca scientifica e tecnologica, dal monitoraggio, dalle banche dati e dalla memoria storica. Tali attività permettono di individuare le aree pericolose, instabili, potenzialmente soggette agli effetti del dissesto idrogeologico e quindi di redigere le relative mappe;
- la prevenzione o mitigazione consiste in tutte quelle operazioni, strutturali e non, volte all'attenuazione degli effetti negativi, dovuti alle modifiche del territorio, previsti sulle infrastrutture antropiche.

In tale scenario di dissesto non fa eccezione ovviamente la regione Friuli Venezia Giulia che nelle ultime decadi ha subito numerose alluvioni tra cui le principali, negli anni 1965-1966, 1979, 1983, 1990, 1995, 1996, 2000 e 2003, sono avvenute a seguito di piogge intense (Sebastiano, 2010). Questi eventi, spesso disastrosi, coinvolgono ampie porzioni di territorio in cui si innescano, durante o anche dopo, numerosi fenomeni di dissesto; a titolo di esempio si consideri che solo l'evento eccezionale del 2003 ha provocato più di 1000 dissesti nei comuni della Val Canale – Canal del Ferro.

Nel caso specifico del bacino del torrente Slizza, in maniera estremamente sintetica, si possono contare dal 1881 almeno 29 eventi significativi, ossia recanti danni non trascurabili alle attività umane, tra piene, frane e rotture arginali (PAIR, 2014).

Sempre per dare un'altra idea delle dimensioni del problema in figura seguente si sovrappongono alla carta di pericolosità di frana prevista dai PAIR i punti identificativi dei fenomeni franosi nel comune di Tarvisio desunti dal Progetto IFFI (*Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*) (Fig.3-1); da questa è evidente come la problematica dei dissesti coinvolga sostanzialmente l'intero bacino.

Come messo in luce da numerosi autori (Di Fidio e Bischetti, 2007; Bischetti e D'Agostino, 2010), in tutti i Paesi dell'arco alpino, e quindi anche in quello in esame, la difesa strutturale dal problema del dissesto idrogeologico si è sempre basata sulla combinazione tra l'approccio ingegneristico-strutturale agente con interventi localizzati che fanno riferimento al campo prettamente idraulico o geotecnico e l'approccio ingegneristico-biologico volto sostanzialmente mantenere in condizioni il più possibili naturali l'area d'intervento.

Tuttavia, mentre negli anni passati questo aspetto era volto prevalentemente alla vegetazione ripariale, negli ultimi tempi ha cominciato ad avere un significato ecologico più generale coinvolgendo anche le comunità viventi nelle aste fluviali che possono risentire degli interventi di mitigazione del dissesto idrogeologico.

Tenendo presente lo scopo dell'elaborato, diventa quindi indispensabile conoscere le opere di difesa che minano la continuità fluviale.

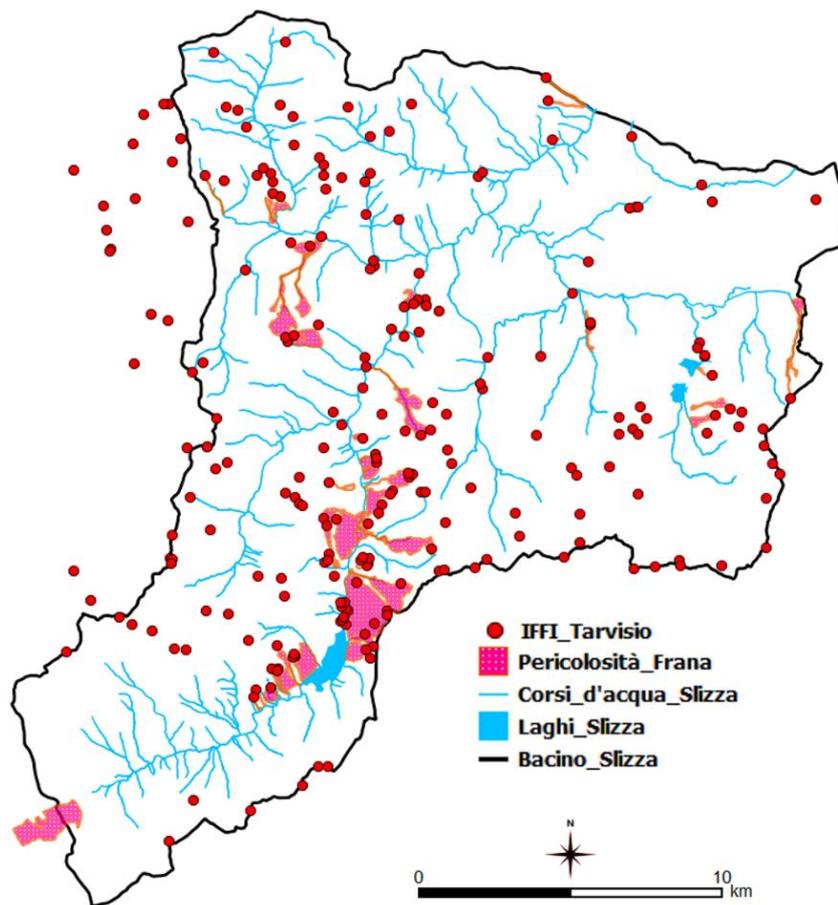


Fig.3-1: Carta di pericolosità di frana e fenomeni censiti nel progetto IFFI.

3.1.2. Interventi strutturali per la mitigazione del rischio idrogeologico nel bacino idrografico del torrente Slizza.

Come detto ad inizio capitolo le problematiche che possono sorgere in un bacino idrografico sono numerose, ed allo stesso modo saranno numerosi gli interventi di tipo strutturale che si possono eseguire per fronteggiarli; in particolare si parla solitamente di *difesa* nel caso delle aste fluviali e di *sistemazione* delle aste torrentizie.

Essendo quello del torrente Slizza un bacino idrografico montano con aste a carattere fortemente torrentizio nel proseguo ci si concentrerà solo sugli interventi di sistemazione, dei quali una suddivisione importante è quella tra:

- interventi di tipo estensivo, che da definizione sono quelli areali/distribuiti/diffusi sul territorio del bacino. Fanno parte di questa tipologia le tecniche di ingegneria naturalistica, l'inerbimento/rimboschimento od in generale tutte quelle tecniche che ricadevano sotto il nome di sistemazione idraulico-forestale o idronomia montana;
- interventi di tipo intensivo, che da definizione sono quelli puntuali o al più lineari posti lungo lo sviluppo del corso d'acqua. Fanno parte di questa tipologia tutti i classici manufatti idraulici di ingegneria civile quali briglie, soglie pennelli, muri ed altri che si possono distinguere per la problematica/obbiettivo che affrontano e/o in funzione della loro direzione d'asse.

Da un punto di vista storico, sebbene vi siano testimonianze già dal 1600 (Bischetti e D'Agostino, 2010) la nascita dell'attività sistematoria si può convenzionalmente fissare intorno alla metà del secolo XIX nei vari paesi alpini; a partire da allora essa si è evoluta nella tecnica e nelle finalità adattandosi ai

cambiamenti economici, della società e dell'ambiente, fino ad arrivare allo stato attuale in cui gran parte delle soluzioni si possono considerare tecnicamente consolidate.

Ovviamente le evoluzioni dell'attività sistematoria hanno coinvolto tutte le sue fasi, ovvero quella di programmazione, di progettazione ed anche di esecuzione (Bischetti e D'Agostino, 2010).

È interessante osservare, in questo periodo di tempo, le seguenti tappe (Puglisi, 2003):

- sino ai primi anni del XX secolo vi è stato un massiccio utilizzo di interventi estensivi poi limitati per non danneggiare troppo l'attività pastorale e quindi volti soprattutto a tutelare la vegetazione;
- al termine della prima guerra mondiale vi è l'annessione di nuove province dove vi era una grande tradizione sistematoria di scuola Austriaca; tra queste anche il territorio del Tarvisiano;
- dal secondo dopo guerra vi è un massiccio utilizzo di interventi intensivi prevalentemente in calcestruzzo armato poi limitati per non esasperare l'artificializzazione dei corsi d'acqua;
- ad oggi infatti si ritorna all'utilizzo di tecniche estensive per ri-naturalizzare il territorio ed a limitare l'uso di opere intensive che in ogni caso devono essere realizzate con materiali rustici del luogo. Tutto ciò anche nell'ottica del maggior rispetto dell'ecologia dei corsi d'acqua che è indubbiamente un concetto di recente introduzione.

Questa ricostruzione storica ha interessato anche il bacino del torrente Slizza dove infatti, elaborando i dati regionali aggiornati al maggio 2017, si possono contare la realizzazione di circa 1110 opere idrauliche intensive di cui la distribuzione spazio-temporale, la suddivisione per tipologia sono riportate nelle figure seguenti (Fig.3-2, Fig.3-3 e Fig.3-4).

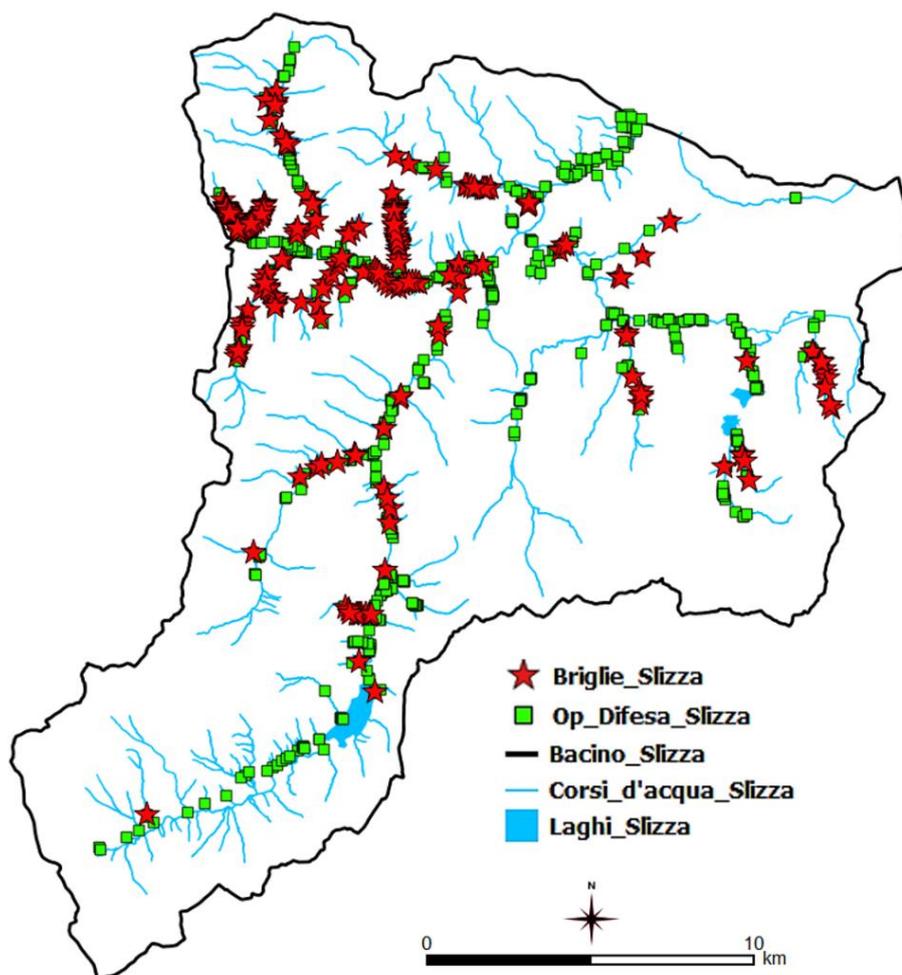


Fig.3-2: Distribuzione delle opere idrauliche intensive di sistemazione nel bacino idrografico dello Slizza.

Dai dati ed in particolare da queste figure si nota che:

- gli interventi sono pressoché diffusi in tutte le porzioni il bacino; tale affermazione si rafforza considerando anche la presenza, anche se non rappresentata in mappa, di interventi estensivi nei vari versanti presenti;
- sebbene in maniera meno netta rispetto a quanto visto per le opere di derivazione, anche gli interventi di sistemazione si concentrano prevalentemente lungo le aste principali del reticolo. Questa osservazione risulta importante nell’ambito di questo elaborato proprio perché evidenzia come le opere di sistemazioni “completino” la distribuzione dell’impatto ambientale nel bacino infittendolo lungo le aste principali e spesso introducendolo nelle minori;
- anche senza investigare sulle specificità di ciascuna opera è evidente la grande varietà tipologica degli interventi realizzati nel bacino. Questo conferma quanto si era affermato nel capitolo 1 riguardo la varietà delle problematiche che hanno afflitto e affliggono il bacino;
- una buona percentuale (21%) della sistemazione è stata realizzata mediante briglie indicate in rosso nella Fig.3-8 che, essendo opere trasversali sporgenti, risultano quelle maggiormente impattanti dal punto di vista biologico di interesse;
- coerentemente con quanto affermato in precedenza il bacino dello Slizza presenta già interventi di sistemazione dal 1834 ma tuttavia la maggior parte saranno realizzati nel secondo dopoguerra e negli anni del boom economico con poi successivo calo negli ultimi anni a favore degli interventi estensivi.

Essendo interesse della tesi soprattutto valutare l’impatto ecologico di tali opere nei successivi paragrafi ci si concentrerà sulle briglie, dapprima dandone una descrizione generale delle tipologie principali e del loro funzionamento per poi descrivere meglio quelle presenti nel bacino idrografico in esame.

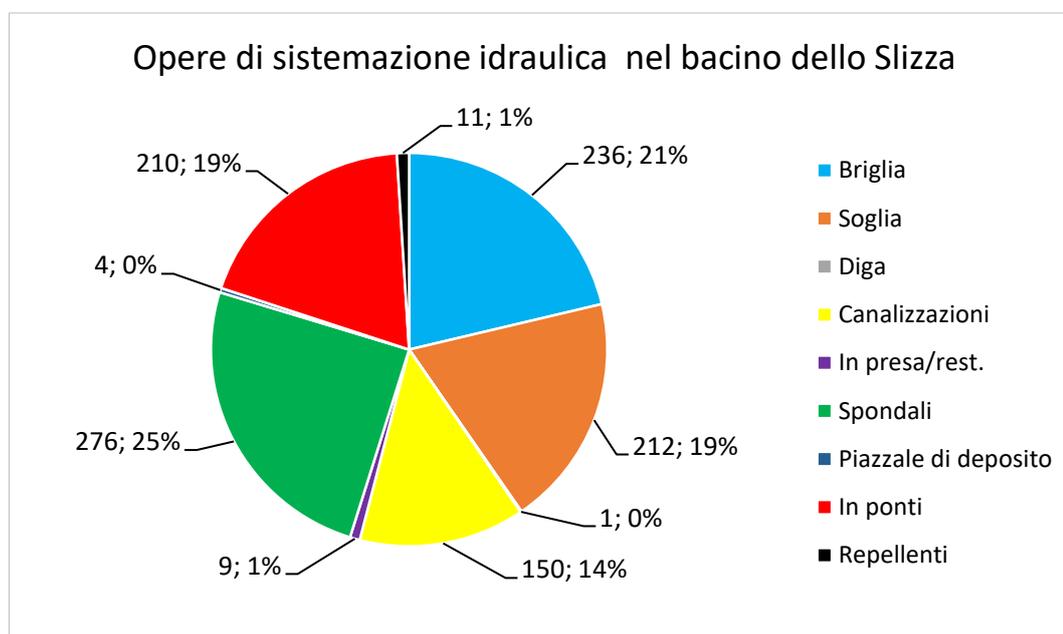


Fig.3-3: Suddivisione delle opere di sistemazione presenti nel bacino idrografico dello Slizza

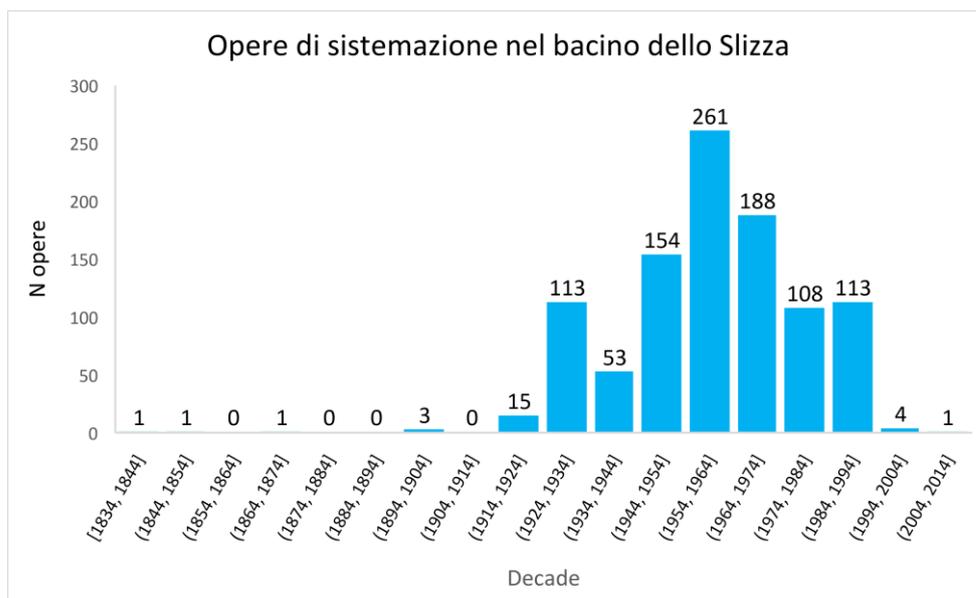


Fig.3-4: Distribuzione temporale delle opere di difesa di cui è nota la data di realizzazione nel bacino idrografico dello Slizza.

3.2. Le briglie chiuse di consolidamento.

In generale si possono definire briglie quelle opere a parete grossa, trasversali rispetto all'asse del corso d'acqua e sporgenti rispetto al fondo di un'altezza inferiore ai 15 m e utilizzate per la sistemazione dei torrenti, (Benini, 1990).

Le briglie sono una delle opere "classiche" di ingegneria ossia sono dei manufatti che nel tempo hanno sempre visto conservato il loro utilizzo, subendo una inevitabile evoluzione tecnica riguardante il funzionamento, i materiali e la costruzione.

Questo comporta ovviamente la presenza di numerose classificazioni e tipologie di queste opere, le quali, sebbene abbiano concluso da tempo la fase sperimentale e vengono continuamente aggiornate e perfezionate affinché ai pregi funzionali, si associ anche quello di causare, a regime, un basso impatto ambientale (Puglisi, 2003).

Trascurando le differenze tra le varie tipologie di briglie, si può dire che qualunque briglia è, dal punto di vista costruttivo, paragonabile ad un muro di sbarramento di cui gli elementi fondamentali sono:

- le ali, ossia le parti laterali della briglia con le quali questa si attesta sui versanti orografici nei quali la lunghezza di ancoraggio dipende dalla stabilità del manufatto. La loro inclinazione, solitamente di 1:10, serve a convogliare la lama d'acqua verso il centro evitando così lo scalzamento laterale;
- la gaveta, qualora presente, è la parte centrale in cui il coronamento viene ribassato, essa ha solitamente sezione trapezia, con raccordo a 45° con le ali, o a catenaria, atta a garantire il passaggio della corrente in ogni regime senza favorire fenomeni di aggiramento. La sua posizione è solitamente centrata nel corpo diga ma teoricamente la sua eccentricità dovrebbe essere definita dalla posizione dell'alveo di magra;
- la fondazione, generalmente a platea, dotata o meno di taglioni.

A questi elementi fondamentali si aggiungono spesso a valle della briglia:

- una controbriglia, ossia una ulteriore briglia priva di gaveta o a quinte, di modesta altezza con lo scopo di creare, un rigurgito della corrente verso monte che quindi costituisce un cuscinio d'acqua in grado di attutire l'impatto della lama stramazzone al piede della briglia riducendo così lo scavo;
- la vasca/ bacino di dissipazione. Questa può essere delimitata o meno da muri di sponda atti ad evitare erosioni al piede delle sponde e quindi loro possibile instabilità e rivestita o meno da una platea atta ad evitare lo scalzamento al piede della briglia; in ogni caso il suo compito

è quello di contenere e quindi di permettere lo sviluppo del rigurgito provocato dalla controbriglia.

È chiaro quindi che, per il garantire stabilità e funzionamento di ogni suo singolo elemento, una briglia dovrà essere soggetta a verifiche statiche di ribaltamento, strutturali, idrauliche di sollevamento, sifonamento, corretto deflusso delle portate ed assenza di scalzamento al piede, nonché geotecniche di scorrimento, capacità portante, stabilità globale; queste in condizioni transitorie ed a regime, con o senza funzionamento dei dreni.

Partendo da questa descrizione generale le briglie possono essere classificate:

- i. in funzione dei materiali: si possono quindi avere briglie in c.a., a gabbioni, in terra, in pietrame, in legno o composite. Come già accennato oggi si preferiscono materiali da costruzione rustici quali legname e pietrame del luogo se possibile con inerbimento;
- ii. in funzione del meccanismo resistente: si possono quindi avere briglie classiche a gravità, briglie ad arco, briglie a contrafforti;
- iii. in funzione della forma;
- iv. in funzione del rapporto col deflusso d'acqua e col materiale trasportato: si possono quindi avere briglie chiuse, briglie aperte (o selettive o filtranti), briglie frangi-colate e briglie per la trattenuta del materiale flottante.

Per gli scopi del presente elaborato è di interesse soprattutto l'ultima classificazione in quanto in essa vengono descritte le briglie chiuse di consolidamento che sono quelle che appunto saranno oggetto di ittiocompatibilizzazione nel proseguo dell'elaborato.

Pertanto, al fine di concentrarsi sui soli manufatti che saranno di interesse successivo, di seguito si fornisce una breve descrizione solamente della tipologia di briglie chiuse in c.a. mentre verranno trascurate le varianti sui materiali e soprattutto le briglie di trattenuta in quanto essenzialmente assenti nel bacino o comunque non essendo interessate dal progetto di ripristino.

Le briglie chiuse sono la tipologia più antica di queste opere oggi e da sempre utilizzate per il consolidamento dei corsi d'acqua ossia la stabilizzazione del fondo e delle loro sponde.

In realtà, la funzione di consolidazione può anche essere svolta da briglie aperte se opportunamente progettate, tuttavia in ambiente alpino questo utilizzo è ancora poco frequente (Ferro, 2011) come peraltro si constata anche nel bacino idrografico del torrente Slizza in cui sono assenti.

Le briglie chiuse sono così chiamate in quanto la loro funzione è quella di trattenere tutto il materiale solido trasportato al fondo dalla corrente fluida in modo tale da avere:

- una fase transitoria, possibilmente il più breve possibile, nella quale vi è un progressivo interrimento a monte della briglia stessa;
- una fase di regime nel quale si sono raggiunte le condizioni di completo interrimento e quindi nella sezione di inserimento la quota del fondo coinciderà con quella del coronamento della briglia.

Difatti la funzione di questa tipologia di briglia è proprio quella di modificare o meglio fissare la quota del fondo nella sezione di inserimento; questo per:

- evitare che la quota del fondo scenda al di sotto di quel livello sulla sezione o a monte della stessa, cosa che solitamente si desidera se vi sono pile di ponte o altri manufatti. In tal caso l'intervento è puntuale ed è sufficiente un'unica briglia di consolidamento;
- ridurre la pendenza primitiva del torrente o di un suo tratto al fine di ridurne il carattere erosivo. In tal caso l'intervento sarà lineare e si può realizzare con tecniche innovative come le rampe in massi oppure disponendo in serie un certo numero di briglie o soglie con cui si materializzano una serie di salti; entrambi metodi che verranno discussi nei successivi capitoli potendo essere usati come scala di risalita per i pesci.

Il secondo è forse l'intervento di sistemazione più celebre nelle aste montane ed è sicuramente quello in cui è più comune l'uso delle briglie di consolidamento; esso è noto come sistemazione a salti di fondo (Fig.3-5):

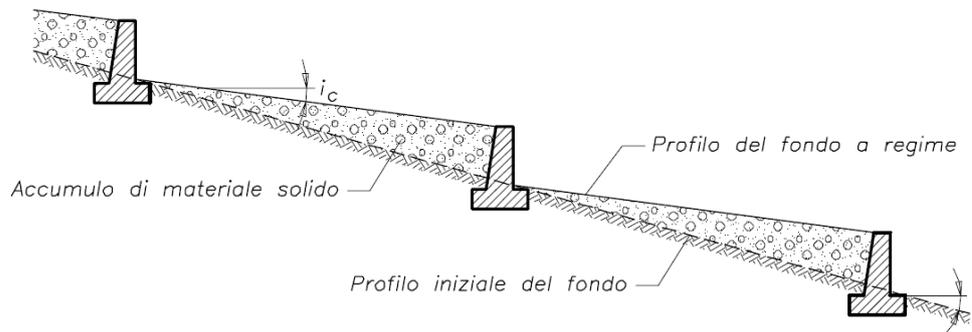


Fig.3-5: Sistemazione a salti di fondo con briglie.

L'obiettivo teorico di questa sistemazione è di ottenere, attraverso una serie di salti, una pendenza di progetto i_p tale per cui l'apporto solido risulti pari alla capacità di trasporto del torrente quindi per la quale si perde il comportamento di scavo del torrente.

Questo è ovviamente impossibile essendo le due grandezze, apporto e capacità di trasporto, entrambe dipendenti dal tempo; per cui, ragionando non sulle portate ma sui volumi in un certo intervallo di tempo, si assume come pendenza di progetto la i_c (detta pendenza di compensazione) che rappresenta quel valore della pendenza del fondo per cui nell'intervallo di tempo considerato vi è bilancio tra apporto e trasporto solido.

Inoltre la progressiva riduzione della pendenza darà anche luogo ad una gradazione del materiale depositato che sarà via via sempre più fine; per cui a regime si avrà che i_c potrà anche essere intesa come una pendenza di equilibrio, cioè per la quale, ammesso che non si superi la portata di progetto, le acque limpide non erodono più.

Nel problema di progetto il valore della pendenza si determina su ogni sezione di inserimento sfruttando l'ipotesi di moto uniforme ed adottando un criterio di mobilizzazione del trasporto solido al fondo.

Un sistema con cui si può operare è il seguente:

$$\begin{cases} Q = K_s \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i_p} & (\text{moto uniforme}) \\ \tau_{cr} = \gamma \cdot R \cdot i_p & (\text{moto uniforme}) \\ \tau_{cr} = \vartheta_{cr} \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot d & (\text{criterio di incipiente trasporto solido al fondo}) \end{cases}$$

Dove (con riferimento alla sezione di inserimento):

- Q è la portata di progetto relativa al tempo di ritorno scelto (nota);
- τ_{cr} è il valore critico dello stress tangenziale al fondo;
- γ è il peso di volume dell'acqua;
- γ_s è il peso di volume della frazione solida;
- A è l'area della sezione liquida;
- K_s è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler
- R è il raggio idraulico;
- ϑ_{cr} è il valore critico del parametro di incipiente trasporto solido al fondo (in questo caso di Shields);
- d è il diametro caratteristico dei sedimenti che al di sopra del quale saranno in equilibrio (fissato, solitamente d_{90}).

Ricavato dal precedente sistema il valore di progetto (i_p) e primitivo (i) della pendenza; fissando l'altezza della briglia (z) che per briglie a gravità generalmente 5÷6 m, si determina immediatamente la distanza della successiva briglia (L). Ad esempio nel caso di i costante:

$$L = \frac{z}{i_f - i_p}$$

Ovviamente la formula sopra riportata può anche essere utilizzata in maniera inversa, ossia fissando la distanza tra le briglie che solitamente è di 60 ÷ 70 m o anche meno nei corsi d'acqua molto pendenti e ricavandone l'altezza necessaria.

Quindi a seconda delle condizioni morfologiche, delle dimensioni scelte, dei materiali a disposizione e delle sollecitazioni che subiscono si sceglierà la tipologia di briglia più adatta.

Ad oggi, come già detto, la selezione verterà sostanzialmente solo sulla scelta del materiale, rispetto al quale si hanno le numerose possibilità; per quanto riguarda il bacino idrografico in esame è possibile affermare la netta prevalenza di briglie in c.a. rivestite in pietrame.

In queste, dal punto di vista costruttivo, esclusi particolari sovente presenti come lo sbalzo di valle della gaveta o i taglioni in fondazione, non vi sono elementi caratteristici della tipologia rispetto alla descrizione generale data in precedenza ma è bene sottolineare che in tali briglie è estremamente importante dotare il corpo murario di una serie di feritoie-dreni, generalmente più fitti nella parte bassa del corpo, atti a ridurre la differenza di carico idraulico tra monte e valle della briglia e quindi riducendo sia la spinta idrostatica sulla briglia e che la filtrazione al di sotto di essa.

3.2.1. Impatto ambientale di una briglia.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale di una briglia, indipendentemente dalla tipologia, queste sono comunque delle opere trasversali sporgenti presenti in alveo, pertanto si possono considerare valide le medesime considerazioni generali già illustrate nel paragrafo 2.3 riguardo gli sbarramenti delle derivazioni.

Quindi, concentrandosi immediatamente sugli aspetti biologici, approfondendo per il caso specifico delle briglie quanto visto in precedenza, va anzitutto detto che l'impatto sulla fauna ittica che tenta la risalita di un'asta può essere provocato direttamente o indirettamente dalla presenza della briglia; affermazione comunque valida anche per ogni altro sbarramento.

Per quanto riguarda il più intuitivo impatto diretto/fisico alla risalita delle specie ittiche, questo sarà inevitabile nel caso di briglie chiuse mentre dovrebbe essere per definizione nullo in presenza di quelle aperte. In realtà quest'ultima affermazione risulta essere vera solo in linea teorica o quando la briglia è completamente svuotata a monte; condizione questa che si verifica solamente ad inizio esercizio o dopo manutenzione, altrimenti l'ostacolo sarà costituito dal materiale trattenuto.

In quest'ottica ogni briglia può essere classificata come non superabile, difficilmente superabile e facilmente superabile.

Concentrandosi per ora sulla dimensione del manufatto che, come si vedrà tra breve, è solo una delle molteplici variabili da considerare, indipendentemente dalla specie ittica considerata, è possibile considerare superabili tutte le briglie di altezza inferiore ai 30 cm (*Gestione e Ricerca Ambientale Ittica Acque* - GRAIA, 2011).

Per quanto riguarda l'azione indiretta delle briglie, la sua definizione è sicuramente più complessa visto che deriva dal rapporto tra i funzionamenti descritti nei paragrafi precedenti e la natura dell'ecosistema; in generale esse possono portare alla modifica dannosa del biotopo delle specie ittiche, cioè a quella porzione di territorio in cui vivono una determinata specie animale o vegetale.

Per approfondire tale tematica è necessario fornire alcuni elementi di ecologia fluviale che, al fine di non frammentare troppo le informazioni, essendo queste strettamente legate al tema delle derivazioni analizzate separatamente nel precedente capitolo, saranno solamente accennate nel presente capitolo per essere poi trattate in maniera dettagliata nel paragrafo 6.1 dell'elaborato dove verranno richiamati anche i concetti di impatto ambientale che saranno introdotti di seguito.

Infatti è bene precisare che un ecosistema (Fig.3-6) è caratterizzato da fattori abiotici dati dall'insieme degli elementi inanimati che compongono anche il biotopo e da fattori biotici dati dall'insieme degli elementi viventi. Tutti questi fattori sono tra loro ovviamente interconnessi ed essenzialmente le briglie portano ad una modifica delle caratteristiche abiotiche che, direttamente od indirettamente (attraverso la modifica di quelle biotiche) risultano dannose per le specie ittiche.

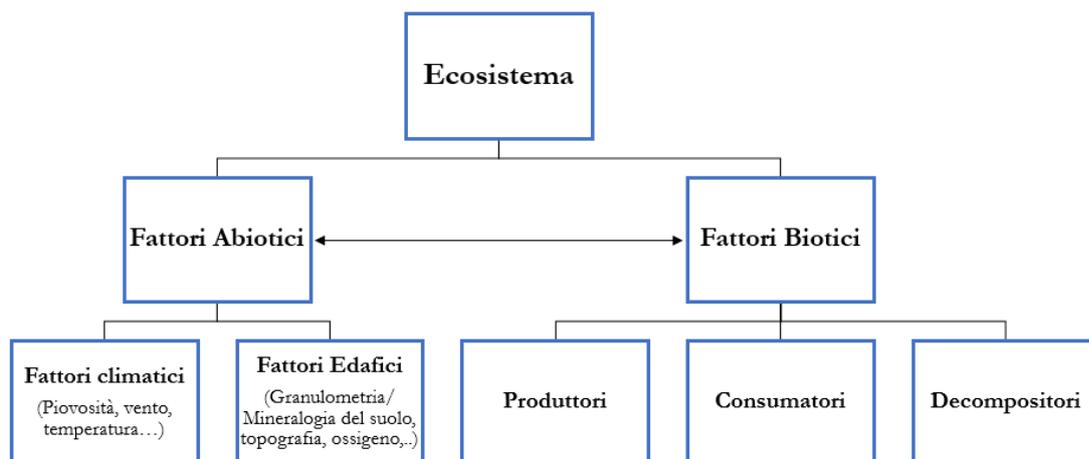


Fig.3-6: Rappresentazione schematica di un ecosistema (ridisegnato da EVS blog, 2012)

Come effetti indiretti, sia le briglie di consolidamento che quelle di trattenuta, con meccanismi diversi, comportano una modifica granulometrica del fondo; alla quale, nelle opere chiuse si aggiunge anche una riduzione di velocità dovuta alla diminuzione di pendenza.

Per quanto riguarda la modifica granulometrica è intuitivo che ad essa corrisponde un cambiamento degli habitat/microhabitat di alcune specie animali come ad esempio le comunità bentoniche e quindi uno sconvolgimento della catena trofica (Gosso et al., 1998).

Invece per quanto riguarda la variazione di velocità, essa comporta principalmente una modifica della copertura vegetale del substrato e delle caratteristiche chimico-fisiche, in particolare dell'ossigeno disciolto e della temperatura dell'acqua che, come si vedrà, sono caratteristiche fondamentali degli habitat fluviali.

Come già detto tali aspetti saranno approfonditi nel paragrafo 6.1 tuttavia è importante sottolineare che spesso l'impatto indiretto degli sbarramenti sul biotopo può essere di maggior rilevanza rispetto all'impatto diretto del salto in sé (Gosso et al., 1998); questo evidenzia che la superabilità o meno di una briglia non è solamente legato alle sue dimensioni o alla tipologia della specie ittica ma anche a tutti gli altri effetti al contorno da essa prodotti sull'ambiente circostante.

Pertanto per garantire la sostenibilità ambientale dell'opera si rende necessaria una visione di insieme e multidisciplinare al fine di dotare l'opera e l'area circostante di tutti i manufatti/accorgimenti necessari a limitarne l'impatto.

Con le informazioni fornite sino ad ora, solo come anticipazione/introduzione al tema dei capitoli successivi, si possono seguire le seguenti indicazioni (GRAIA, 2011), per preservare la continuità ecologica del corso d'acqua:

- la briglia non dovrebbe generare un salto superiore a 30 cm, altrimenti sarebbe bene ridurre la distanza reciproca per raggiungere il salto di progetto necessario per la pendenza di compensazione con sbalzi minori;
- qualora il salto non sia eccessivo e/o ci sia la possibilità nel tratto in oggetto, si sostituiscano alle briglie opere con finalità simili, in modo tale che il salto venga suddiviso longitudinalmente lungo un tratto dell'alveo senza determinare discontinuità invalicabili per l'ittiofauna. Queste sono ad esempio le già citate rampe e soglie in pietrame che di fatto vengono spesso classificate come opere trasversali ittocompatibili o direttamente come opere di risalita ma sempre specificandone l'origine storica di opera di difesa;
- qualora non fosse possibile la sostituzione, la realizzazione della briglia deve avvenire nel rispetto delle caratteristiche morfologiche del tratto, in primo luogo assecondando con il suo profilo trasversale la conformazione dell'alveo naturale ossia rappresentandone tutte le sottosezioni (se) presenti e conservandone i loro rapporti in modo da cui consegue anche il mantenimento dei regimi idrici. Ad esempio è fondamentale che la gaveta permetta la continuità dell'alveo di magra attraverso la struttura.

Nel caso in cui non sia possibile garantire questi requisiti e quindi più in generale evitare l'invalicabilità dell'opera, dove è necessario si deve prevedere la realizzazione dei dispositivi per la risalita dei pesci

che sono oggetto principale della tesi. Per quanto concerne l'impatto paesaggistico si è già ampiamente sottolineato la tendenza, per le nuove opere, di abbandonare l'uso dei materiali tradizionali per favorire quelli rustici.

3.3. Le briglie di difesa nel bacino del torrente Slizza.

Si è già accennato nel primo paragrafo del presente capitolo che, nel corso anni, il bacino dello Slizza è stato interessato da un numero non trascurabile di alluvioni o più in generale da fenomeni di dissesto idrogeologico dannosi.

Come in tutti i bacini appartenenti alla fascia alpina della regione, in questi eventi si è distinto il contributo dell'erosione (Sebastiano, 2010), fortemente incentivato dall'idrografia e geomorfologia del bacino, quale causa di innesco nelle zone più elevate del bacino e causa di predisposizione, mediante accumulo di materiale di colata nelle zone vallive, degli eventi di dissesto intesi nel senso più generale del termine.

Come visto in precedenza un intervento da sempre utilizzato per ridurre/controllare questo fenomeno di degradazione del territorio è l'utilizzo di briglie e quindi in figura seguenti si riporta la distribuzione spaziale di quelle realizzate nell'ultimo secolo nel bacino dello Slizza (Fig.3-7).

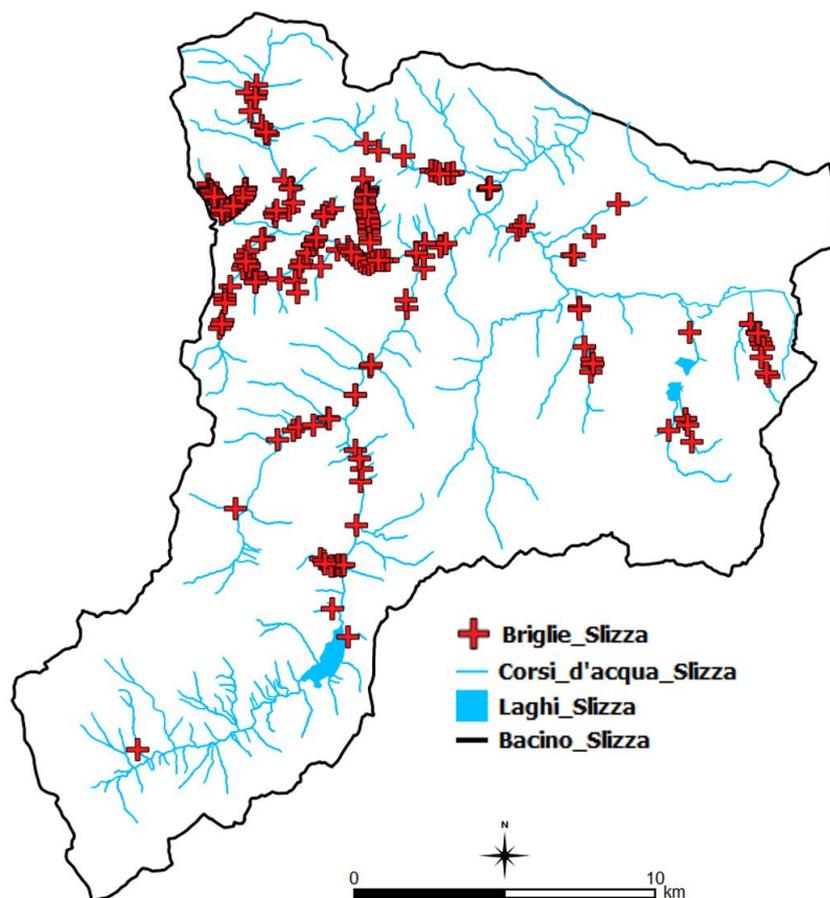


Fig.3-7: Briglie nel bacino del torrente Slizza.

Da una interpretazione delle mappe e dei dati resi disponibili dalla Regione Friuli Venezia Giulia, con l'ausilio di immagini satellitari, si deduce che:

- nel bacino dello Slizza sono state realizzate 236 briglie con un andamento temporale coerente con quello generale delle opere di difesa e quindi a campana con il picco nel secondo dopoguerra (Fig.3-8);
- da un punto di vista spaziale la maggioranza di queste opere si colloca nella porzione Nord - Occidentale del bacino dove sono state utilizzate in gran numero per interventi di sistemazione a salti di fondo; di questi i principali si notano nel sottobacino del Rio Bartolo in

corrispondenza delle aste che insistono sulla frazione di Camporosso in Valcanale, più precisamente lungo i torrenti Casarenza e Mosgai e sul centro di Tarvisio lungo il Rii Borgo ed il canale Bartolo.

In base al concetto di mitigazione del rischio la motivazione di questa distribuzione così spazialmente disomogenea va ricercata nei livelli di danno e pericolosità a cui è esposta tale area.

Invece, per quanto riguarda il valore esposto si nota infatti che in tale zona è concentrata la maggiore densità abitativa e che medesima situazione si presenta anche sul rio dei Combattenti in località Cave del Predil; mentre nella porzione più meridionale del bacino a sud del lago del Predil sono praticamente assenti le briglie, in quanto, in tale area è evidente che non vi sono elementi esposti.

Da una stima in *QGIS* della distanza tra le briglie in queste sistemazioni si nota come nelle aste minori essa sia mediamente di circa 30 m mentre anche superiore ai 100 m sul Rio Bartolo; questo è dovuto alla forte differenza di pendenze primitive del fondo che si nota anche nella carta delle pendenze riportata al capitolo 1. Come si accennava in precedenza, un'altra motivazione sulla distribuzione spaziale delle opere, stavolta basata sulla pericolosità, si può trovare richiamando la distribuzione dei fenomeni di dissesto riportata ad inizio capitolo (si veda Fig.3-1) che può essere considerata un indicatore della pericolosità della zona essendo censiti tutti gli eventi indipendentemente dal danno; in questa era evidente la loro maggiore densità proprio nel settore settentrionale del bacino;

- le briglie possiedono dimensioni molto variabili (Fig.3-9) ed il loro numero è legato in maniera inversamente proporzionale alla loro altezza il cui valore massimo è pari a 7.40 m raggiunto da un'opera posta sul canale dei Carri.

Si nota che il 90 % circa delle briglie possiede un'altezza sporgente inferiore ai 4 m il che le identifica come manufatti medio-piccoli; talvolta per altezze inferiori ai 2 m, esse vengono classificate anche come soglie, ma in tal caso si è deciso di mantenere la classificazione utilizzata dal servizio Regionale che evidentemente distingue in base al meccanismo di erosione o interrimento che si verifica a monte dell'opera.

Per la distribuzione spaziale in funzione dell'altezza si può fare riferimento alla figura (Fig.3-10) dove è evidente che le briglie di dimensioni maggiori sono collocate o a ridosso di tratti sistemati con salti di fondo o isolate in corsi d'acqua principali dove la realizzazione di una serie di salti di minore entità risulta evidentemente svantaggiosa considerando le dimensioni dell'alveo. Nel primo caso le briglie saranno atte a realizzare delle zone di accumulo dei sedimenti a ridosso dei tratti stabilizzati (CREST, 2004) mentre nel secondo, come si vedrà tra breve, oltre a consentire una riduzione di pendenza senza lunghezze di intervento elevatissime, il salto da loro generato viene anche sfruttato per fini idroelettrici e quindi attorno ad esse verrà realizzata un'opera di derivazione solitamente puntuale.

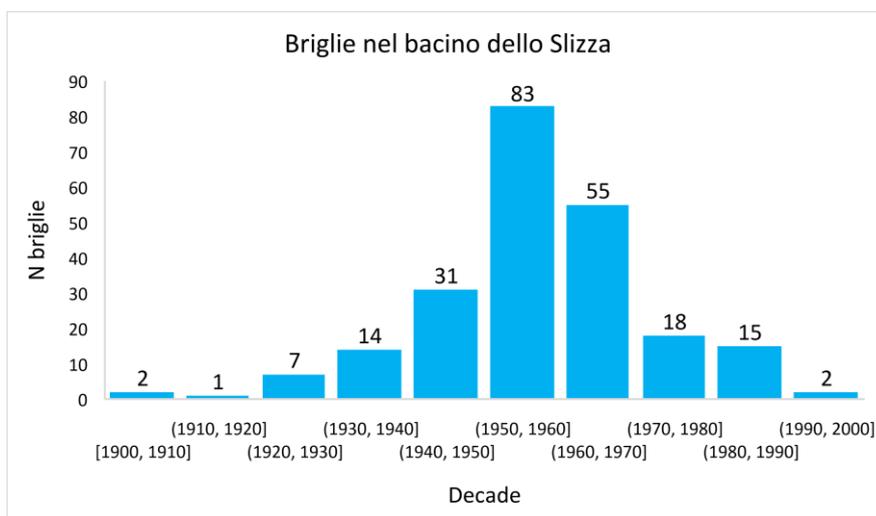


Fig.3-8: Distribuzione temporale delle briglie (di cui è nota la data di realizzazione) nel bacino dello Slizza.

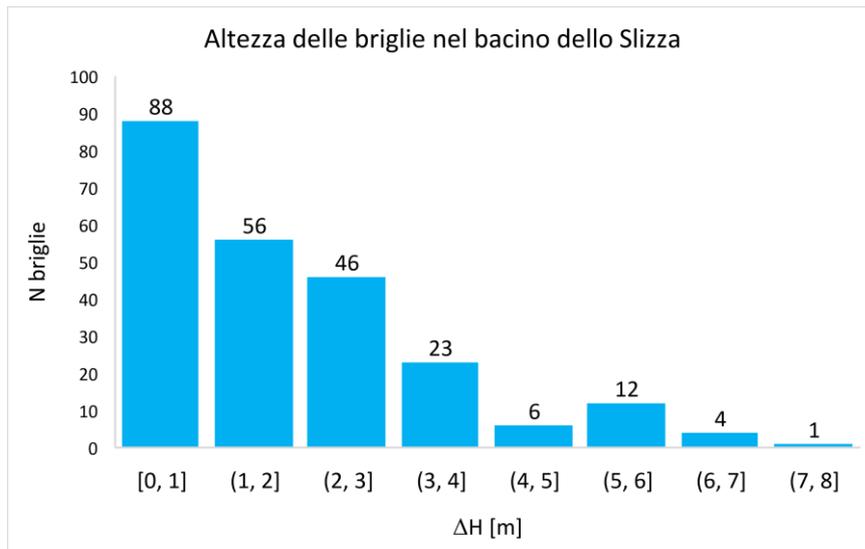


Fig.3-9: Distribuzione dell'altezza delle briglie nel bacino idrografico dello Slizza.

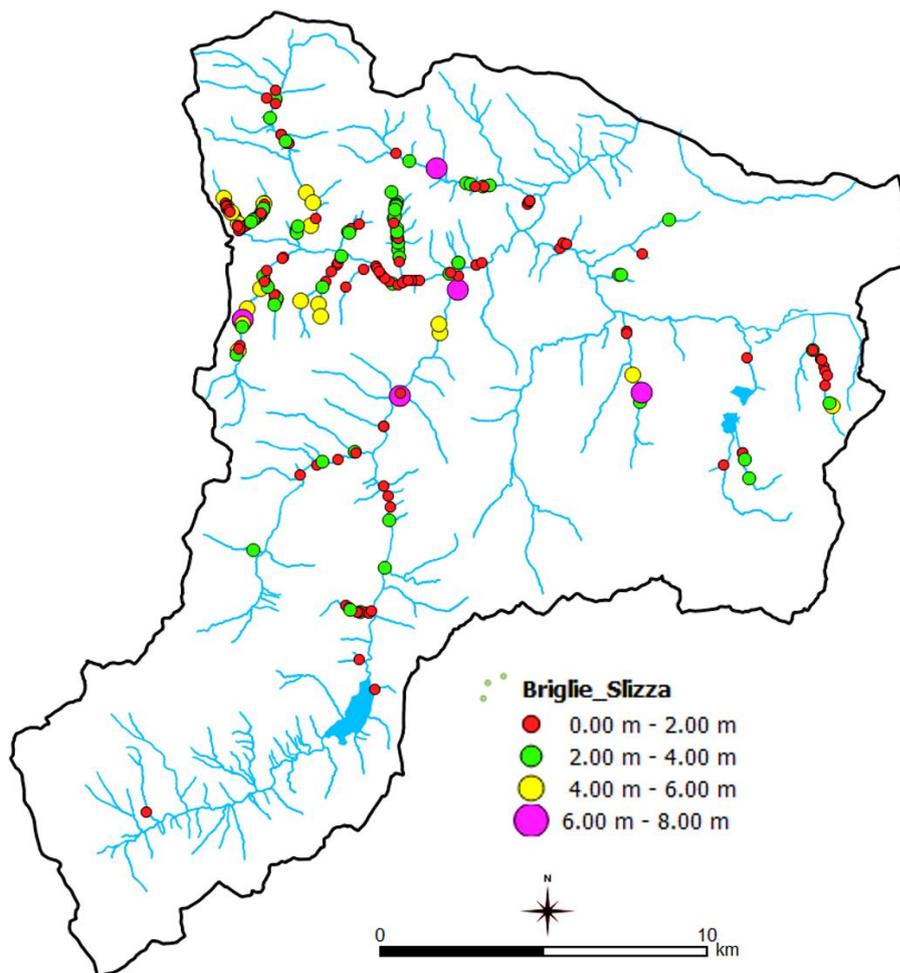


Fig.3-10: Distribuzione spaziale delle briglie suddivise per altezza nel bacino dello Slizza.

Alla luce di quanto appena detto in questo capitolo e di quanto si è visto nel precedente, diviene interessante riportare sulla precedente mappa anche la distribuzione delle derivazioni idriche da corpi idrici superficiali realizzate in corrispondenza di briglie.

Si ricorda infatti dal capitolo precedente che, in presenza di salti di fondo tali da giustificare la realizzazione, le briglie forniscono artificialmente il contesto ideale per la realizzazione piccoli impianti idroelettrici ad acqua fluente.

Come volevasi dimostrare la ricerca ha evidenziato che tali derivazioni idroelettriche sono state realizzate proprio in corrispondenza delle briglie “isolate” di elevate dimensioni (tutte tranne una) a cui si faceva cenno in precedenza.

Come si mostra in figura seguente (Fig.3-11) nel bacino si individuano 4 impianti idroelettrici, nel proseguo nominati attraverso il codice dell’opera di presa, che sorgono in corrispondenza di briglie di difesa:

- 1) l’impianto 497, rispondente al nome di “*Plezzut nuova 3*”, è stato realizzato sul torrente Slizza in zona campo sportivo, circa 400 m a monte della confluenza col Canale Bartolo, in corrispondenza della briglia già riportata in figura nel capitolo precedente (Fig.2-15).
- 2) i due impianti 493 e 495, rispondenti rispettivamente ai nomi di “*Plezzut nuova 2*” e di “*Plezzut nuova 1*”, sono situati entrambi sulla stessa ansa percorsa dal torrente Slizza in località Plezzut circa 1÷1.5 km a monte dall’impianto 497 al quale sono molto simili;
- 3) la derivazione 1297 è situata sul Rio Nero, un affluente del Rio Vaisonz, a circa 2.5 km dalla confluenza con quest’ultimo.

Nelle tabelle. seguenti si riportano le caratteristiche delle briglie (Tab.3.3-I) e delle derivazioni (Tab.3.3-II), le stesse si possono ritrovare nelle banche dati regionali e nei relativi allegati grazie alla colonna “*ID_Irdat*”.

Tab.3.3-I: Caratteristiche delle briglie utilizzate in derivazioni idriche

<i>(N, E) Gauss-Boaga/Est</i>	<i>Asta</i>	<i>H [m]</i>	<i>B [m]</i>	<i>Anno</i>	<i>ID_Irdat</i>
(392052.81, 5150692.93)	T. Slizza	7	1.6	1960	23624
(395857.76, 5148536.21)	R. Nero	3.2	0.4	1982	22984
(391645.86, 5149799.70)	T. Slizza	5.7	1.6	1970	23579
(391621.18, 5149980.10)	T. Slizza	5.3	1.6	1970	23577

Tab.3.3-II: Caratteristiche delle prese realizzate in corrispondenza delle briglie

<i>(N, E) UTM-33</i>	<i>Us o*</i>	<i>Q_m [l/s]</i>	<i>Q_{min} [l/s]</i>	<i>Q_{max} [l/s]</i>	<i>Sca la</i>	<i>Obb. itt. *</i>	<i>Us o</i>	<i>Con c*</i>	<i>L [k m]</i>	<i>ID_Ir dat</i>
(2412061.00 5150742.76)	C	1383 .3	2200	6000	1	0	i.e	2	0.0 3	497
(2415853.37 5148574.46)	P	80	0	140	1	-	i.e	2	1.2	1293
(2411643.50 5149815.23)	C	1383 .3	2200	6000	1	0	i.e	2	0.0 3	495
(2411637.95 5150011.72)	C	1383 .4	2200	6000	0	-	i.e	2	0.0 4	493

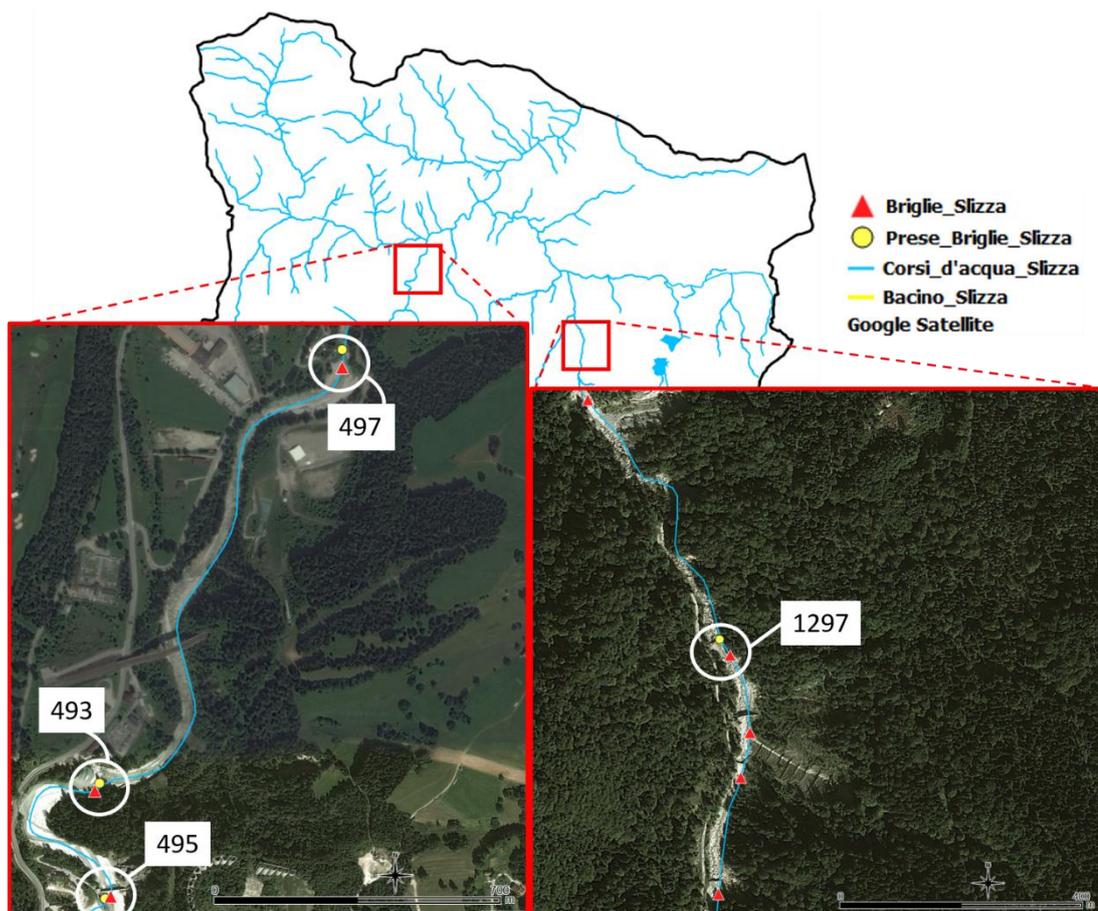


Fig.3-11: Opere di presa in corrispondenza di briglie nel bacino del torrente Slizza.

Da suddette tabelle si nota come:

- le dimensioni degli sbarramenti sono ovviamente molto superiori sullo Slizza rispetto al rio Nero.
In particolare, le due briglie realizzate in località Plezzut sono praticamente identiche ed insistenti su un'ansa caratterizzata da una elevata probabilità di esondazione dove quindi è ovvio che il trasporto solido dovesse essere controllato. Il salto da loro generato è inferiore rispetto a quella posta più a valle essendo sostanzialmente a ridosso del centro abitato;
- le portate derivabili sono ovviamente legate alle dimensioni ed all'ordine dell'asta su cui insistono e pertanto molto maggiori sul torrente Slizza;
- conseguentemente alle precedenti osservazioni, al fine di avere una buona produzione idroelettrica, gli impianti sullo Slizza sono tutti puntuali, quindi caratterizzati dal salto realizzato dalla sola briglia e da portata elevata mentre sul rio Nero, per far fruttare la portata ridotta, oltre al salto di fondo è dotata di un tratto sotteso elevato;
- solo la briglia/sbarramento della presa 493 è stata ittocompatibilizzata una scala di rimonta per i pesci.

Questa situazione appare molto strana considerando la sostanziale identità tra lo sbarramento e gli altri posti, dotati di sbarramento, sul medesimo torrente che in quanto principale sarà sicuramente quella più interessata da migrazioni trofiche e riproduttive delle trote.

Inoltre è chiaro che, essendo in posizione intermedia, questo vanificherebbe i ripristini svolti a monte ed a valle, come si vedrà in seguito.

Le caratteristiche dei vari impianti possono essere ricercate in allegato (Appendici C e D) tuttavia si sottolinea che, dovendosi ovviamente esaurire il transitorio di interrimento dello sbarramento, in tutti i casi le briglie risultano preesistenti alle derivazioni.

Questa osservazione apparentemente ovvia è interessante perché dimostra quanto detto nel precedente capitolo, ovvero di come negli anni sia maturata la tendenza al recupero economico delle grandi opere di difesa che si manifesta mediante il loro sfruttamento idroelettrico con piccoli impianti puntuali ad acqua fluente. Sostanzialmente nel presente elaborato si illustra un'ulteriore passo evolutivo di questa tendenza che è rappresentato dal ripristino ecologico di tutti i manufatti coinvolti sia quelli di difesa che quelli di derivazione.

Sudette briglie lungo il torrente Slizza sono state anche oggetto del sopralluogo cui si è fatto accenno nel capitolo precedente; in particolare al paragrafo 2.4 si era già detto che tutti questi manufatti sono in calcestruzzo armato, rivestite con pietrame ed ancorate su sponde rocciose.

A questo si può aggiungere che tutte le briglie risultano avere gaveta di sezione trapezia composta atta a riprodurre la forma dell'alveo, sprovvista di sbalzo essendo entrambi i paramenti di monte – valle verticali; inoltre non sono stati osservati i manufatti “accessori” descritti al paragrafo 3.2. (Fig.3-12).

Tutte le briglie si trovano in condizioni stazionarie di completo interrimento spesso con una maggiore quantità ed eterogeneità di deposito in sponda opposta alla derivazione; questa situazione come anche il contesto geomorfologico circostante devono essere adeguatamente considerati nel caso in cui su quella sponda debba avvenire la risalita dell'ittiofauna per evitarne sia occlusioni che danneggiamenti. Ovviamente, in vista di un processo di ittiocompatibilizzazione risulta anche fondamentale considerare gli eventuali danneggiamenti del manufatto tali da escludere eventuali operazioni di “modifica” necessari quali ad esempio la risagomatura delle ali. Per ulteriori dettagli descrittivi del manufatto e del contesto circostante si rimanda all'ultimo capitolo della tesi in quanto proprio le derivazioni 493 e 495 saranno trattate in maggior dettaglio in quanto risulteranno oggetto del progetto di ripristino.



Fig.3-12: Particolare della gaveta e dell'ala di una briglia di difesa realizzata nel 1970 sul torrente Slizza. Torrente in condizioni di magra e sedimenti trasportati da affluente in destra idrografica.

4. LE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE SLIZZA.

Il presente capitolo è dedicato alla descrizione delle caratteristiche idrologiche del bacino idrografico del torrente Slizza.

Per prima cosa viene svolta l'analisi pluviometrica, essenzialmente volta allo studio delle serie cronologiche registrate dalle stazioni storiche presenti nel bacino.

Vista la penuria delle misure di portata nel bacino italiano del torrente Slizza ci si concentrerà sulle misure relative alla stazione idrometrica carinziana di Thörl per la quale, vista la consistenza del set di misure è possibile l'elaborazione sia delle serie cronologiche che delle curve di durata delle portate e che costituiranno la base per l'adozione di un criterio di similitudine idrologica sui bacini italiani.

Per ultimi saranno elaborati i dati idrometrici e di portata relativi alla stazione idrometrica di Tarvisio – Campo Sportivo che verranno utilizzati per validare l'utilizzo del criterio di similitudine idrologica in rapporto alle aree a partire dalle misure di Thörl.

4.1. Elaborazione dei dati pluviometrici.

4.1.1. Descrizione delle stazioni di misura.

I dati pluviometrici che verranno elaborati sono quelli della rete di monitoraggio idrometeorologico gestita dall' Ufficio Idrografico della regione Friuli Venezia Giulia, oggi facente parte del Servizio gestione risorse idriche della stessa, ed in alcuni casi anche dalla Protezione Civile (Fig.4-1).

Oltre a queste stazioni ne verrà considerata solamente un'altra appartenente alla rete gestita dall' OSMER (Osservatorio Meteorologico Regionale).



Fig.4-1: Stazione di monitoraggio meteorologico composta da pluviometro, termometro, igrometro, nivometro, radiometro, barometro ed idrometro a ultrasuoni posizionata in corrispondenza del ponte di attraversamento del torrente Slizza in località Campo sportivo di Tarvisio

Si cerca di riassumere la situazione della rete pluviometrica nel bacino dello Slizza con la seguente figura (Fig.4-2) e tabella (Tab.4.1.1-I); da queste si nota come negli anni le stazioni siano state posizionate in corrispondenza di tutte le aste principali del reticolo ed in particolare nei pressi dei vari centri abitati in modo da avere una accurata descrizione pluviometrica dell'intero bacino.

Per semplicità nel proseguo di tutto l'elaborato le varie stazioni verranno identificate mediante i nomi delle località in cui sono posizionate che sono riportati nella prima colonna della tabella.

Purtroppo dalla tabella appena citata si nota come la rete abbia subito varie modifiche negli anni e di come attualmente siano funzionanti solo 6 stazioni tra le quali è molto importante per il presente lavoro quella del Valico di Fusine, unica a possedere una storia superiore a 20 anni.

A tal proposito, come riportato anche in tabella, si precisa che la suddetta stazione ha subito uno spostamento nel 2012 che tuttavia non compromette la continuità delle misure che risulta comunque conservata essendo stata posizionata a breve distanza (circa 500 m) e senza sostanziali variazioni di quota da quella che era la posizione storica.

Inoltre, per descrivere le caratteristiche pluviometriche del bacino, visto il lungo periodo di attività e la data di cessazione piuttosto recente, risulta fondamentale anche la serie di misure registrate dalla stazione storica di Tarvisio.

Anche in questo caso, al fine di garantire la continuità di questa importante serie storica, l'arresto della stazione è avvenuto dopo aver attivato la stazione di Tarvisio – Campo Sportivo con un periodo di sovrapposizione, ossia di contemporaneo funzionamento, di circa 3 anni (01/01/2002 ÷ 30/09/2005).

Considerazioni del tutto analoghe possono essere fatte anche per la stazione pluviometrica di Cave del Predil che, sebbene con qualche anno di interruzione, possiede un periodo di rilievo molto esteso prima di essere disattivata e sostituita dopo un anno dalla stazione di Cave del Predil, Ponte Miniera che è stata collocata a pochi metri di distanza dalla posizione storica.

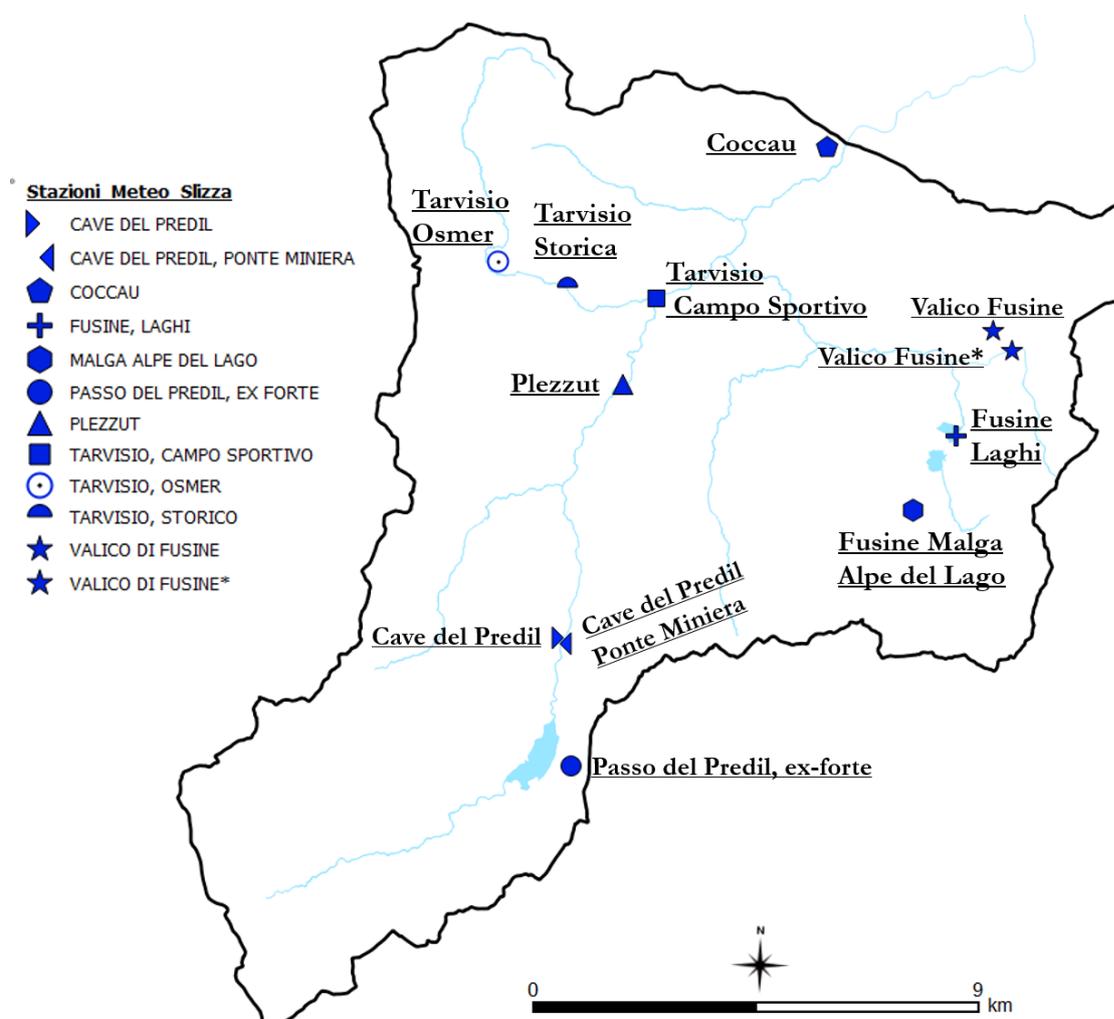


Fig.4-2: Ubicazione delle stazioni pluviometriche nel bacino del torrente Slizza.

Tab.4.1.1-I: Informazioni relative ai pluviometri presenti nel bacino del torrente Slizza.

Località	E ** [m]	N ** [m]	h _{terreno} [m s.l.m.]	Data inizio	Data fine	Attiva
Tarvisio, Campo sportivo	2412111	5151091	708	05/01/2001	-	Si
Tarvisio, Storica	2410300	5151324	751	01/01/1922	30/09/2005	No
Cave del Predil, Storica	2410214	5144208	904	01/01/1921	14/06/2006	No
Fusine laghi	2418157	5148327	852	01/01/1923	31/10/1944	No
Valico di fusine	2418894	5150436	852	01/01/1970	01/01/2012	No
Valico di fusine*	2419268	5150027	852*	01/01/2012	-	Si
Plezzut	2411414	5149344	750	01/01/1923	01/01/1944	No
Coccau	2415541	5154162	700	01/01/1923	01/01/1944	No
Passo del Predil, ex forte	2410339	5141671	1125	14/07/2009	-	Si
Cave del Predil, ponte miniera	2410143	5144073	897	25/01/2008	-	Si
Malga alpe del lago	2417274	5146800	1007	01/10/2008	-	Si
Tarvisio, OSMER	2408910	5151840	794	27/07/1999	-	Si
* la stazione è stata spostata in nuova posizione; essendo questa non troppo distante e senza grosse variazioni di quota si considera conservata la continuità della stazione						
**Coordinate Gauss – Boaga fuso Est						

4.1.2. Determinazione delle serie cronologiche delle precipitazioni nel bacino del torrente Slizza.

Dato un set di misure pluviometriche, la prima operazione sempre utile consiste nel costruire gli andamenti cronologici delle precipitazioni al fine di individuare peculiarità o tendenze meteorologiche del territorio in esame nel tempo.

Per quanto visto nel paragrafo precedente questa operazione verrà svolta utilizzando i soli dati delle stazioni di Tarvisio - *Storica* e - *Campo sportivo*, del *Valico di Fusine*, e di Cave del Predil - *Storica* e - *Ponte miniera* in quanto presentano delle serie molto consistenti di dati che permettono di fare le considerazioni desiderate.

Inoltre, vista la dimensione non eccessiva del bacino che già di per sé porta a supporre un certo grado di omogeneità nel comportamento, l'analisi delle tre stazioni permette anche di avere anche delle informazioni riguardo la variabilità spaziale delle precipitazioni nel bacino.

Non essendo lo scopo del presente lavoro la ricerca degli eventi estremi ma bensì l'individuazione del regime pluviometrico del bacino e della sua eventuale variazione negli anni, tutte le elaborazioni seguenti verranno condotte riferendosi alle cumulate mensili di precipitazione.

Si precisa che sono stati elaborati solo i valori validati dall'Ufficio Idrografico che attualmente si estendono sino ad ottobre-2016.

Ovviamente, all'intero di una stessa serie, essendo calcolate a partire dalle precipitazioni giornaliere, come quest'ultime alcuni di questi dati mensili possono risultare incerti o mancanti.

Questa situazione si è riscontrata soprattutto nei primi anni di funzionamento delle stazioni e/o nei mesi invernali nei quali la valutazione è resa più complessa a causa della presenza della precipitazione nevosa.

Tuttavia, la lunghezza della serie ed il fatto che si ragiona con cumulate mensili, spesso sono sufficienti a sopperire a tali inconvenienti rendendo ininfluenti gli errori eventualmente presenti nelle misure; nel caso specifico si è proceduto come segue:

- sono stati mantenuti i dati incerti;
- sono stati mantenute le cumulate mensili classificate come mancanti ma di cui viene comunque fornito il valore in quanto indica che la lacuna riguarda un numero ristretto di giorni;

- le cumulate mensili mancanti di cui non viene fornito il valore, se presenti in numero ridotto in uno stesso anno, sono state sostituite con i valori omologhi della stazione pluviometrica attiva più vicina;
- non sono stati elaborati gli anni in cui sono mancanti i dati relativi alla maggioranza dei mesi.

Come detto in precedenza lo studio puntuale dei dati di una singola stazione verrà svolto solamente per quelle che possiedono una serie storica di misure continua in un periodo sufficientemente esteso per svolgere considerazioni su eventuali tendenze; questo limita tale analisi alle stazioni di Tarvisio di Cave del Predil e del Valico di Fusine.

Per quanto riguarda invece la variabilità spaziale delle precipitazioni cui si accennava in precedenza, la descrizione che si ottiene analizzando le tre stazioni fa riferimento ad uno schema estremamente semplificato ottenuto costruendo gli ipotetici poligoni di Thiessen (Fig.4-3); si nota che, sebbene rete costituita dalle sole tre stazioni queste producono una buona e circa equilibrata ripartizione del bacino nella quale:

- o il poligono associato alla stazione di Cave del Predil descrive la porzione meridionale del bacino contenente del tutto i bacini del Rio del Lago del Predil e del Rio Freddo;
- o il poligono associato alla stazione di Tarvisio Storica descrive la porzione nord-occidentale del bacino contenente quasi interamente l'asta del torrente Slizza e tutti i suoi affluenti che vi si immettono in sinistra idrografica;
- o il poligono associato alla stazione del Valico di Fusine descrive la porzione nord-orientale del bacino contenente gli omonimi laghi e gran parte del bacino del Rio del Lago di Fusine;

Quindi, anche se non raffinata, lo schema può comunque fornire una utile descrizione di variabilità spaziale e quindi di come vari l'apporto idrico diretto alle aste principali del bacino.

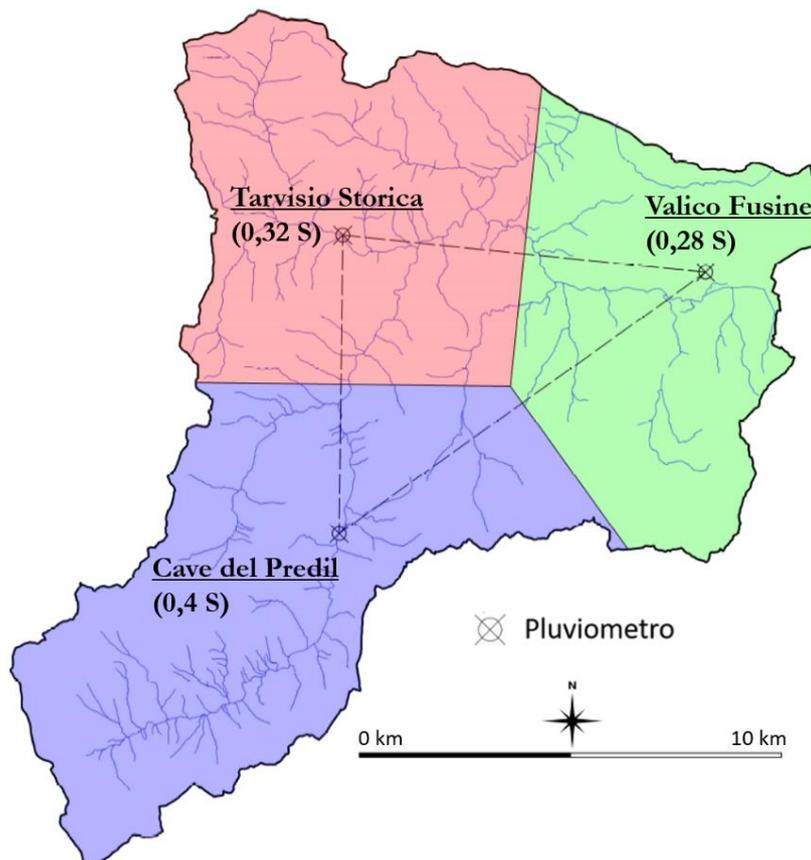


Fig.4-3: Poligoni di Thiessen dell'ipotetica rete pluviometrica composta solamente dalle stazioni storiche di Tarvisio, Cave del Predil e Valico di Fusine; tra parentesi l'area del poligono espressa come frazione della sua superficie totale S .

4.1.2.1. Elaborazione delle misure pluviometriche rilevate sul Valico di Fusine

Alla luce di quanto detto nei paragrafi precedenti, per il pluviometro del Valico di Fusine sono stati elaborati i dati di precipitazione cumulata mensile compresi tra il gennaio 1970 e ottobre 2016 (quasi 47 anni per un totale di 562 dati mensili) con le seguenti precisazioni:

- nell'anno 2013, essendo mancanti 1/3 dei dati, relativi ai mesi di dicembre, gennaio, febbraio e marzo, si è deciso di non eseguire alcuna sostituzione ma di mantenere la lacuna essendo l'impatto di questa scelta molto ridotto vista l'estensione della serie;
- i valori mancanti di settembre 1994, febbraio 2014 e 2016 sono stati sostituiti con quelli dell'unica stazione possibile che è quella di Tarvisio Campo Sportivo.

Per prima cosa si riporta l'andamento cronologico completo delle precipitazioni (Fig.4-4) accompagnato in legenda dalle relative informazioni statistiche di base quali valore massimo, medio e minimo e dalla retta di tendenza ricavata sfruttando il *Basic fitting toolbox* presente in *Matlab* che le stima utilizzando un algoritmo ai minimi quadrati della quale il parametro di interesse è esclusivamente il coefficiente angolare che dà indicazioni sul trend stimato delle precipitazioni.

Nella figura si riconosce che, nonostante analiticamente risulti un trend crescente, la variazione stagionale delle precipitazioni è molto regolare intorno ad al valore medio sebbene sia presente una certa variabilità dei massimi locali mentre i minimi sembrano avere un comportamento più regolare.

Per appurare quanto appena osservato si sono costruiti i gli andamenti cronologici dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni mensili nei vari anni (Fig.4-5) ricordando che tali grandezze non sono ricavabili negli anni 2013 e 2016.

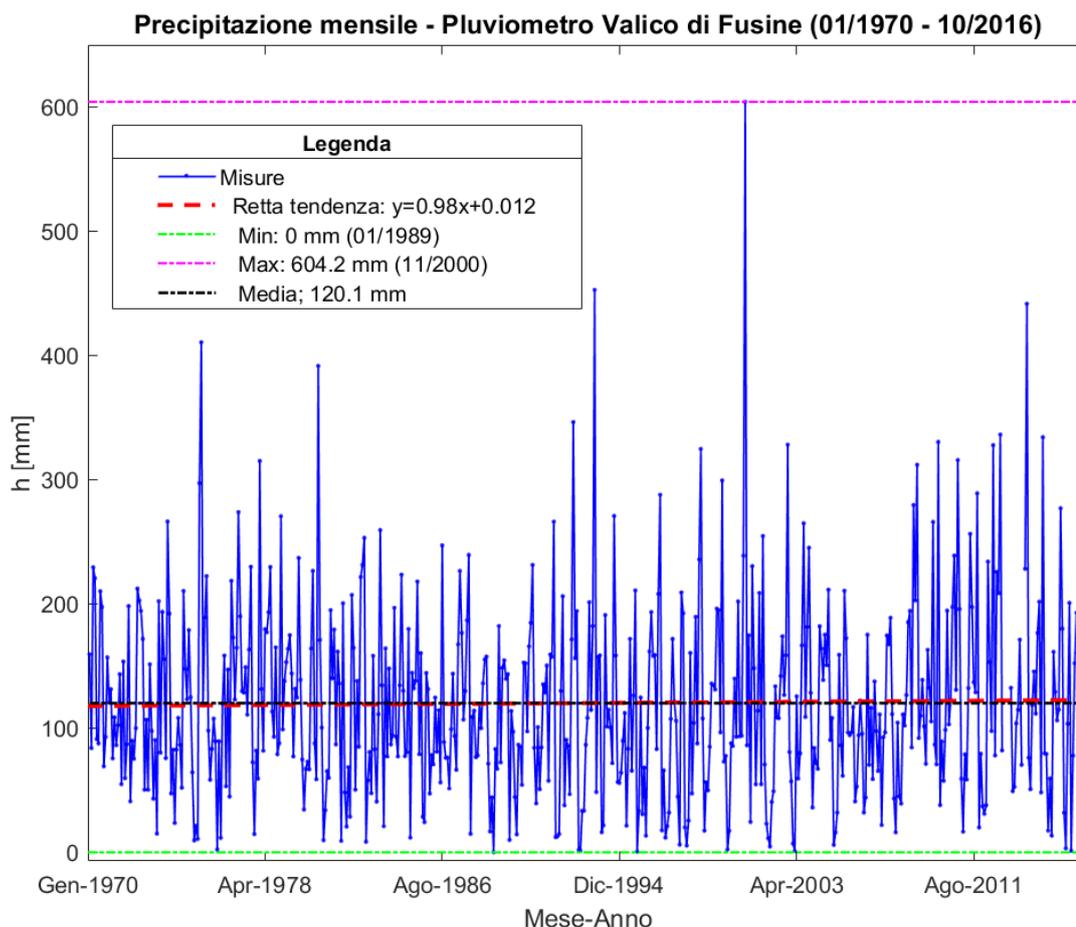


Fig.4-4: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate mensili – Pluviometro Valico di Fusine.

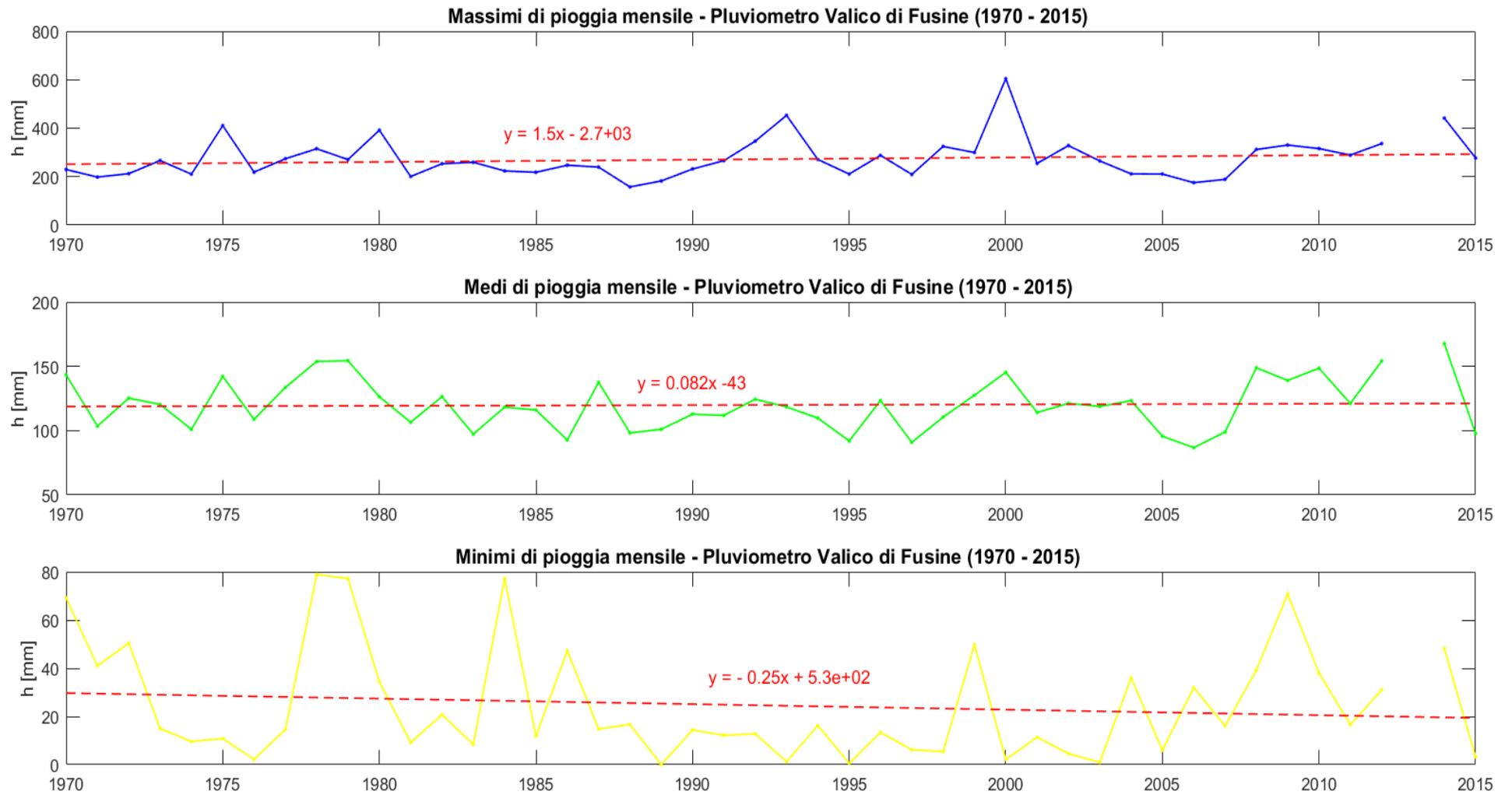


Fig.4-5: Andamento cronologico dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni cumulate mensili – Pluviometro Valico di Fusine.

Come ci si aspettava si verifica l'assenza di un trend per quanto riguarda i valori medi di precipitazione, ad indicare che il valore medio individuato dal campione risulta essere fortemente consolidato in quanto si discosta in maniera minima dai valori medi di ciascun anno.

Quindi, per quanto appena osservato, è ovvio che i valori massimi e minimi devono avere comportamento entrambi stazionario oppure tendenze opposte di entità non troppo differente; infatti entrambi possiedono dei trend molto esigui, rispettivamente 1.5 mm/anno e -0.25 mm/anno, e comunque di segno opposto.

Per cui si può ipotizzare che, nel periodo di funzionamento, il pluviometro sul Valico di Fusine non evidenzia significative variazioni di regime pluviometrico su scala mensile.

Si fornisce un'ulteriore dimostrazione riportando l'andamento cronologico delle precipitazioni cumulate annue, nuovamente non ricavata per gli anni 2013 e 2016, che evidenzia un gradiente di crescita trascurabile di circa 1 mm/anno (Fig.4-6).

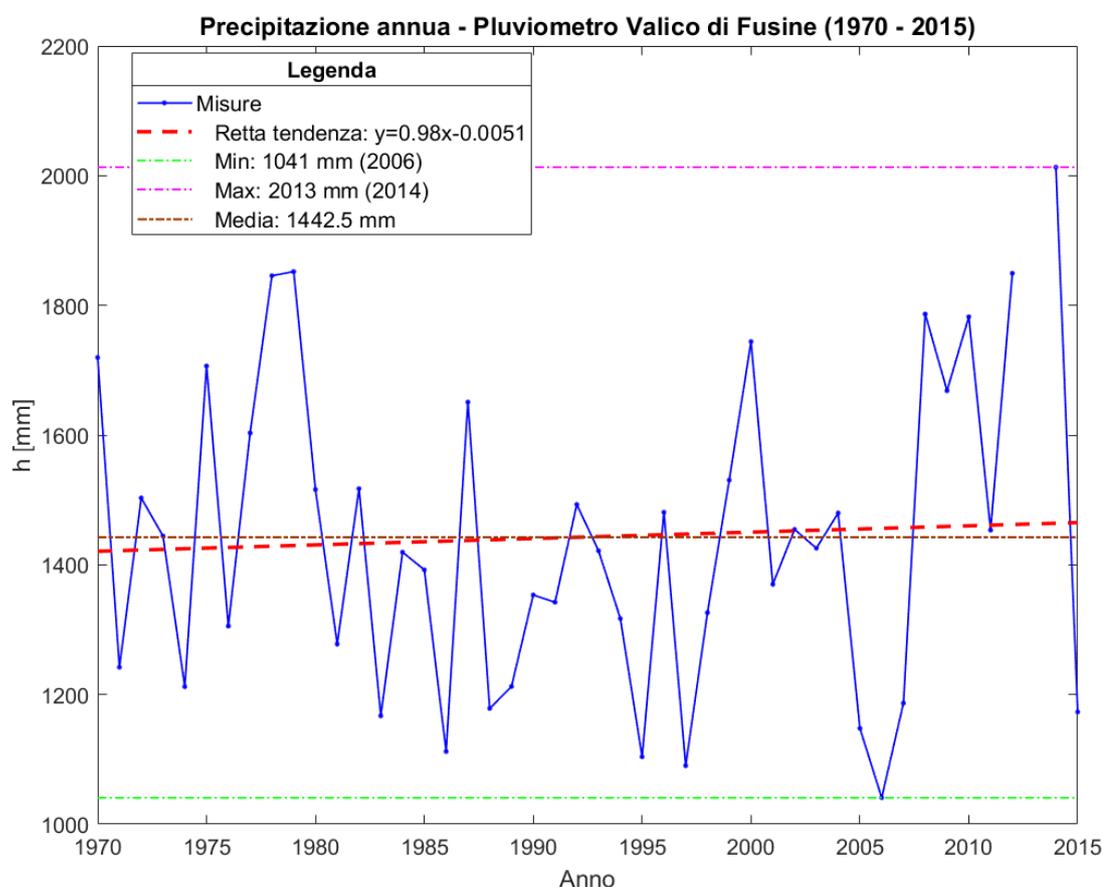


Fig.4-6: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate annue – Pluviometro Valico di Fusine.

Poiché confrontando gli insiemi di valori di precipitazione mensili di ogni anno non si notano importanti variazioni diventa interessante osservare se la stessa cosa si verifica su ciascun mese dell'anno; questo è stato fatto analizzando le serie cronologiche di ciascun mese che varieranno nel campione in base alla loro conoscenza o meno negli anni 2013 e 2016.

I risultati vengono riassunti riportando in figura (Fig.4-7) gli andamenti suddivisi per stagione di appartenenza mentre in tabella sono riportati le informazioni statistiche quali valore massimo, minimo, medio e coefficiente angolare della retta di tendenza per ciascun mese.

Da queste si risultano si trovano confermate tutte le osservazioni precedentemente fatte anche su scala annuale, ossia nel periodo di osservazione non si sono manifestate in nessun mese forti tendenze di variazione del regime pluviometrico; in ogni caso si nota che:

- i mesi che possiedono maggiori gradiente sono quelli autunnali, in cui le precipitazioni tendono ad aumentare fino ad un massimo di 1.3 mm/anno, e quelli primaverili in cui tendono a diminuire fino ad un massimo di 1.7 mm/anno;
- i mesi con maggiore gradiente della retta di tendenza sono anche quelli che possiedono i massimi di precipitazione più elevati a conferma che sono sempre questi a governare il comportamento tendenziale di una stazione;
- i mesi mediamente meno piovosi sono, come ci si aspettava, quelli invernali;
- i mesi con precipitazioni minime più elevate sono quelli estivi;

Tab.4.1.2.1-I: Valore massimo, minimo, medio e coefficiente angolare della retta di tendenza relativi alle serie cronologiche delle piogge cumulate mensili di ciascun mese – Pluviometro di Valico di Fusine.

Mese	h_{media} [mm]	h_{max} [mm]	h_{min} [mm]	$coeff.ang.$ [mm/anno]
<i>Gennaio</i>	79.1	315.1	0.0	-0.87
<i>Febbraio</i>	71.4	441.6	1.3	0.30
<i>Marzo</i>	82.3	297.2	1.0	-1.40
<i>Aprile</i>	116.2	410.6	13.4	-1.70
<i>Maggio</i>	120.9	207.2	37.8	-0.23
<i>Giugno</i>	135.8	256.4	32.0	-0.80
<i>Luglio</i>	147.4	327.8	40.8	0.17
<i>Agosto</i>	132.0	264.9	44.8	1.00
<i>Settembre</i>	147.2	277.0	28.6	1.10
<i>Ottobre</i>	155.9	452.8	0.6	1.00
<i>Novembre</i>	145.4	604.2	9.2	1.30
<i>Dicembre</i>	105.1	330.4	3.2	0.51

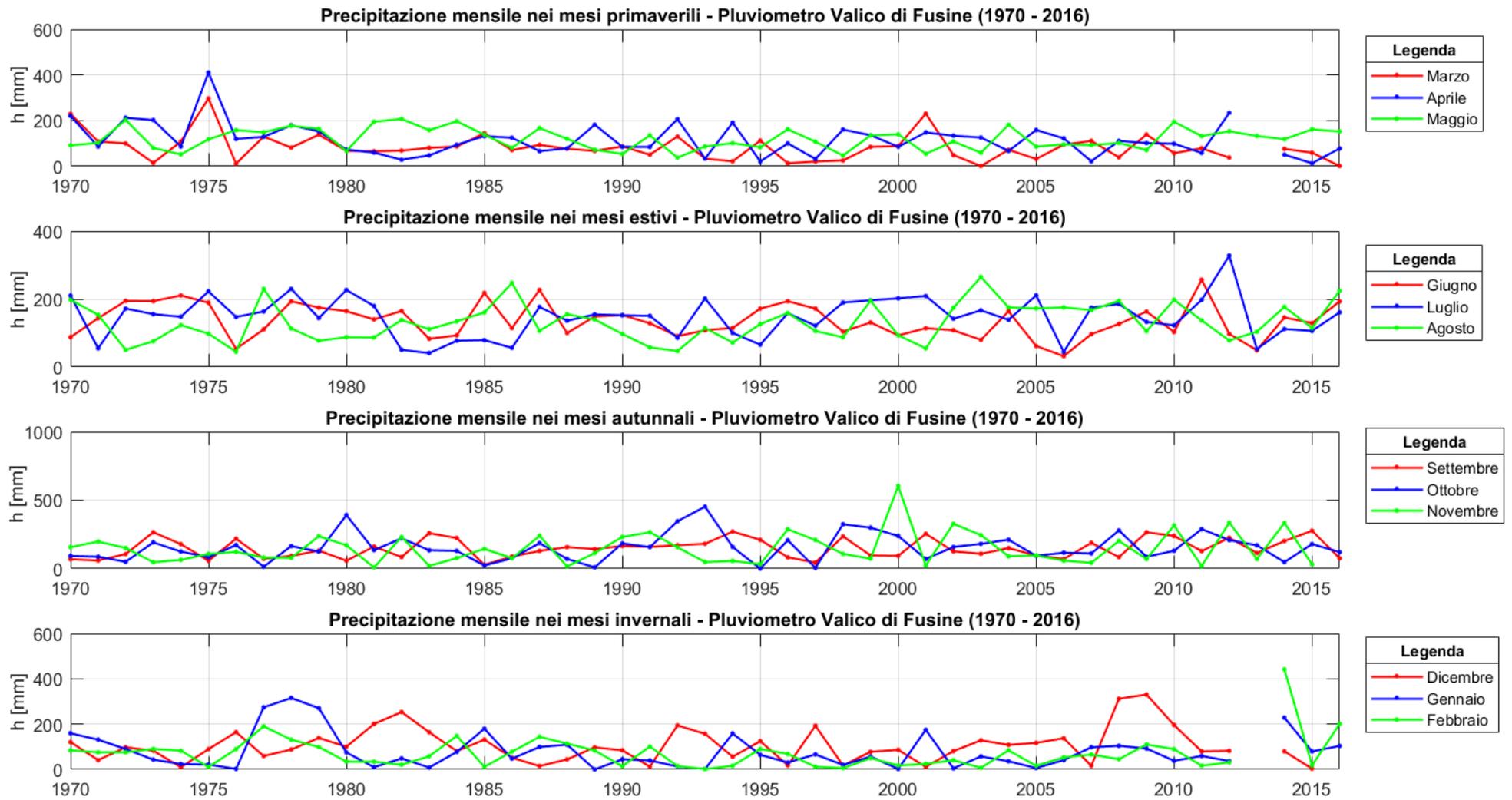


Fig.4-7: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate mensili per ciascun mese – Pluviometro Valico di Fusine.

4.1.2.2. Elaborazione delle misure pluviometriche rilevate a Tarvisio.

In questo paragrafo verranno le ripetute le elaborazioni svolte in quello precedente ma sui dati relativi ai pluviometri di Tarvisio.

Si ricorda (si veda tabella 4.1.1-I) che il rilievo pluviometrico nell'abitato di Tarvisio è stato svolto con la stazione *Storica* dal 01/01/1922 sino al 30/09/2005 in cui è stata dismessa lasciando il compito all'attuale stazione sul *Campo Sportivo* che era stata già attivata nel 05/01/2001; tra le due stazioni vi è una distanza di circa 1800 m ed un dislivello del terreno di circa 43 m.

Il periodo di sovrapposizione in cui ambedue le stazioni hanno funzionato può essere utile per valutare le differenze tra le due stazioni e quindi la possibilità di fusione delle due serie di misure.

In figura seguente (Fig.4-8) si riportano le differenze tra le precipitazioni cumulate mensili misurate dalle due stazioni nel periodo compreso tra gennaio del 2002 e settembre 2005.

Dall'elaborazione del campione di 47 elementi quello che si nota è che le differenze oscillano in maniera casuale e non sistematica attorno al valore medio di circa 1 mm; questo è confermato dal fatto che la distribuzione di frequenza assumerebbe la classica forma a campana simmetrica attorno alla media sostanzialmente nulla fino ad assumere valori massimi in modulo di circa 24 mm.

Considerando il fatto che anche in questo paragrafo si ragionerà in termini di cumulate mensili, tale differenza può considerarsi ammissibile e si decide di considerare le serie storica composta dalle seguenti misure:

- stazione *Storica* fino al dicembre 2004;
- stazione *Campo sportivo* da gennaio 2005 fino ad ottobre 2016.

Come per la stazione di Fusine è stato svolto un controllo preliminare dei dati e secondo i criteri decisi ad inizio capitolo si è operato come segue:

- negli anni 1922 e 1923 sono mancanti gran parte dei dati mentre nel 1924 la stazione non ha funzionato. Pur essendo disponibili per quel periodo solo i dati della stazione di Cave del Predil questi non sarebbero comunque sufficienti a sopperire a tutte le lacune per cui si è deciso di far partire la serie dal 1925;
- sono mancanti i dati relativi ai mesi di maggio e giugno del 1950 dove, anche in questo caso, non essendo presenti altre stazioni funzionanti in quel periodo si sono lasciate le lacune;
- il dato di precipitazione mancante del settembre 1967 è stato sostituito con il valore omologo rilevato dalla stazione di Cave del Predil.

Riassumendo di seguito verranno elaborati le precipitazioni cumulate mensili comprese tra il gennaio 1925 e ottobre 2016 (quasi 92 anni per un totale di 1102 dati mensili).

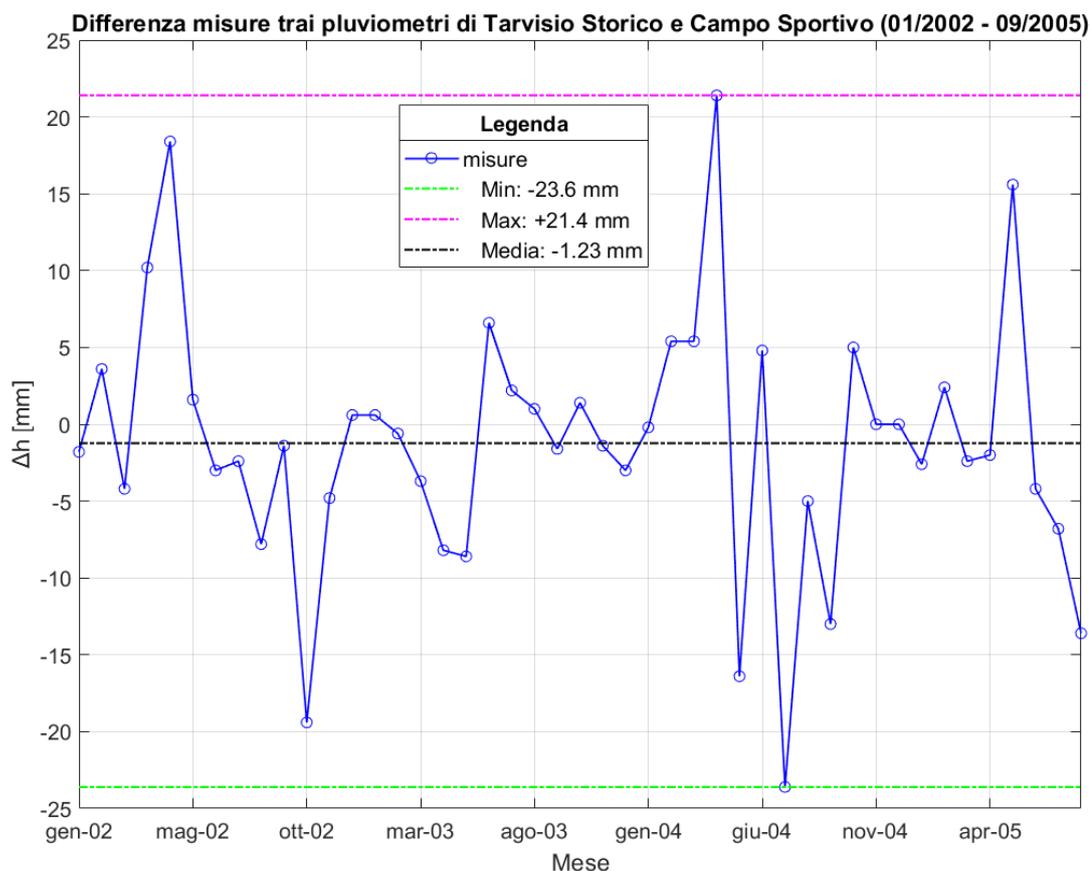


Fig.4-8: Andamento cronologico delle differenze tra le cumulate mensili registrate dai pluviometri di Tarvisio nel periodo di sovrapposizione della loro attività.

Per prima cosa si riporta l'andamento cronologico completo della serie di precipitazioni (Fig.4-9) e confrontandone i risultati con quelli visti per il pluviometro del Valico di Fusine, si nota che entrambe le serie, sebbene le stazioni siano a distanza ed a quote ben diverse (si veda a tal proposito sempre tabella Tab.4.1.1-I e la figura Fig.4-2) possiedono valori medi praticamente coincidenti ma che a Tarvisio si riscontra un trend di segno opposto e molto meno accentuato mentre per Fusine la retta di tendenza era crescente con coefficiente angolare +0.98.

Non essendoci dubbi sulla consistenza della serie di Tarvisio questa differenza, intendendo con questo soprattutto quella sul modulo del coefficiente angolare piuttosto che quella sul segno, di fatto può essere dovuta sia ad un diverso effetto locale dei cambiamenti climatici ma più probabilmente può essere solamente legata alle dimensioni, relativamente rispetto all'altra stazione, ridotte della serie di Fusine. Per svolgere un controllo è stata analizzata anche la serie di Tarvisio riducendola allo stesso periodo di osservazione di quella di Fusine (1970 – 2016) ma si è visto che i risultati risultano praticamente identici a quelli ottenuti considerando la serie completa.

Si fa infine notare la differenza di 83 mm tra i valori massimi registrati.

Quindi anche per il pluviometro di Tarvisio l'ipotesi iniziale che si formula dall'osservazione della serie cronologica è quella che non ci siano palesi effetti di cambiamenti nel regime delle precipitazioni. Nuovamente si approfondisce la conoscenza costruendo gli andamenti cronologici dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni mensili nei vari anni (Fig.4-10) ricordando che nell'anno 1950 questi sono stati ricavati in assenza dei dati di maggio e luglio.

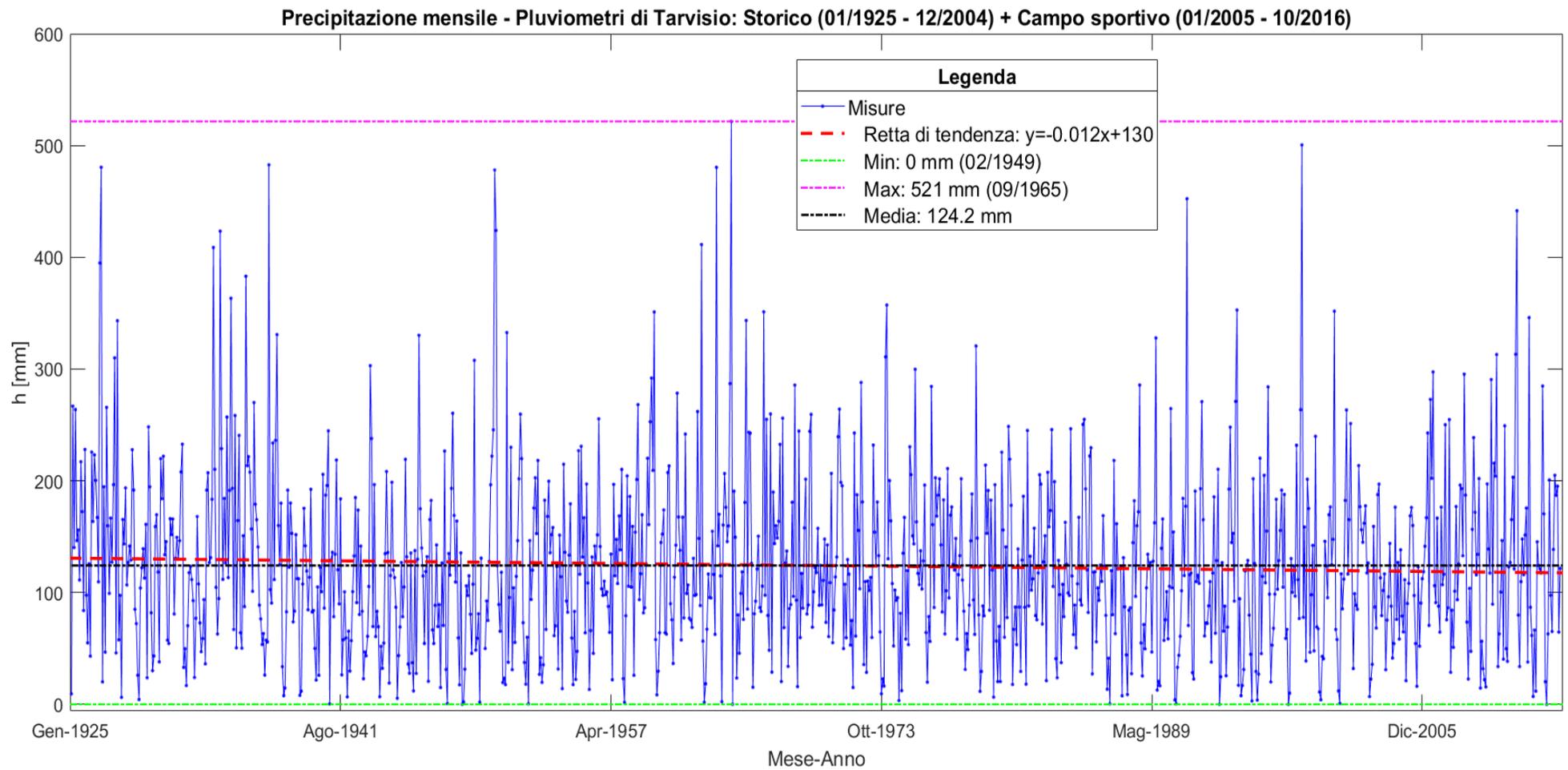


Fig.4-9: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate mensili – Pluviometri di Tarvisio.

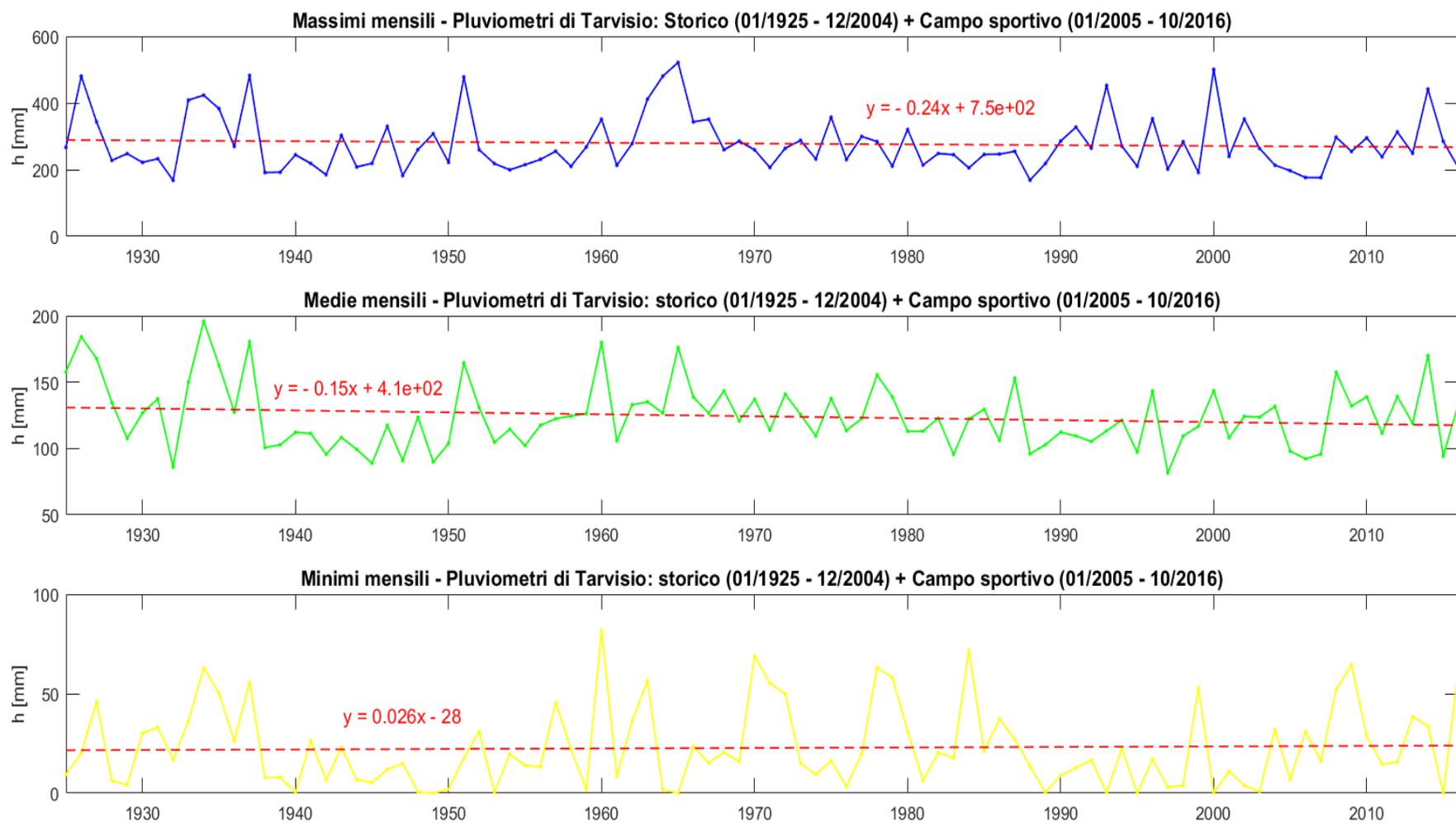


Fig.4-10: Andamento cronologico dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni cumulate mensili – Pluviometri di Tarvisio.

Da questi diagrammi si deduce che:

- l'intervallo di variabilità dei coefficienti angolari delle rette di tendenza è molto ridotto rispetto a quello ottenuto a Fusine a causa della maggiore variabilità dei valori massimi già notata in precedenza il che giustifica anche la maggiore stazionarietà notata nella rappresentazione cronologica completa;
- Come a Fusine si nota una maggiore variabilità dei valori massimi rispetto ai minimi, il che giustifica il fatto che la tendenza dei valori medi sia più simile a quello dei massimi;
- Rispetto a Fusine i valori medi di precipitazione mensile hanno un gradiente più elevato; questo sembrerebbe contraddire quanto detto sino ad ora ma questo, come si vedrà anche in seguito, è una conseguenza legata alla concentrazione di anni nei quali, mediamente e non per eventi estremi, (infatti in questi anni si notano i picchi sia nell'andamento dei massimi che dei minimi) sono molto piovosi tra il 1926 ed il 1937 che non sono presenti nella serie del Valico di Fusine essendo la stazione ancora inesistente e che matematicamente portano ad inclinare la retta di tendenza dei valori medi;

Globalmente si può ancora considerare valida l'ipotesi sul comportamento invariante nel tempo delle piogge di cui si cerca ulteriore conferma di quanto detto riportando di seguito (Fig.4-11) l'andamento cronologico delle precipitazioni cumulate annue la quale avrà unica lacuna nell'anno 1950 e sarà limitata al 2015 che è l'ultimo anno interamente validato.

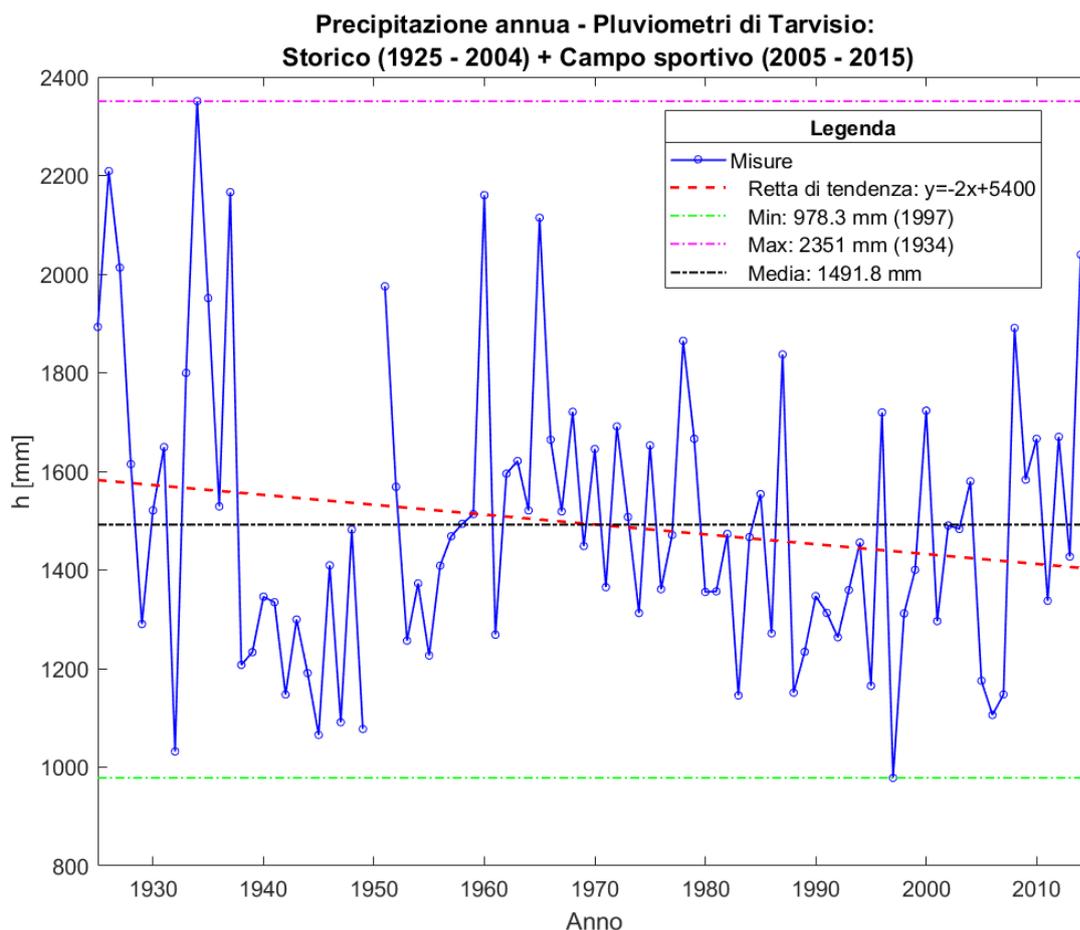


Fig.4-11: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate annue – Pluviometri di Tarvisio.

Dal grafico appena riportato si deduce che:

- mediamente a Tarvisio la precipitazione annua è superiore di circa 50 mm rispetto a quella registrata a Fusine e quindi praticamente esse si possono considerare coincidenti;
- si ritrovano i picchi relativi agli anni molto piovosi del 1926, 1934 e 1936 tutti superiori ai 2013 mm massi rilevati dal pluviometro sul Valico di Fusine purtroppo non ancora attivo in quegli anni.
Come già accennato in precedenza, proprio la presenza di questi anni piovosi ravvicinati conferisce la tendenza decrescente all'andamento delle precipitazioni mensili medie ed ovviamente questo si verifica anche nel diagramma delle precipitazioni annue nel quale il coefficiente angolare della retta è di -2 mm/anno, ovvero doppio rispetto a quello di Fusine;
- Il valore minimo di precipitazione annua è inferiore a Tarvisio rispetto a Fusine e non si verificano nello stesso anno;

Alla luce di quanto visto è sembrerebbe che entrambe le stazioni evidenzino un comportamento stazionario e che le inevitabili differenze possono essere quindi solamente imputate al diverso periodo di campionamento considerato.

Maggiore chiarezza può essere fatta costruendo gli andamenti cronologici dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni mensili nei vari anni. Come fatto in precedenza i risultati vengono riassunti riportando in figura (Fig.4-12) gli andamenti suddivisi per stagione di appartenenza mentre in tabella (Tab.4.1.2.2-I) sono riportati le informazioni quali valore massimo, minimo, medio e coefficiente angolare della retta di tendenza per ciascun mese.

Tab.4.1.2.2-I: Valore massimo, minimo, medio e coefficiente angolare della retta di tendenza relativi alle serie cronologiche delle piogge cumulate mensili di ciascun mese – Pluviometri di Tarvisio.

Mese	h_{media} [mm]	h_{max} [mm]	h_{min} [mm]	coeff.ang. [mm/anno]
<i>Gennaio</i>	75.80	313.20	0.00	-0.02
<i>Febbraio</i>	82.00	478.10	0.00	-0.17
<i>Marzo</i>	96.99	482.70	0.40	-0.52
<i>Aprile</i>	121.35	357.30	11.80	-0.39
<i>Maggio</i>	129.76	278.40	22.00	-0.18
<i>Giugno</i>	143.03	330.20	38.00	-0.29
<i>Luglio</i>	143.48	290.60	29.40	0.04
<i>Agosto</i>	142.77	343.40	19.00	0.03
<i>Settembre</i>	140.48	521.60	23.40	0.13
<i>Ottobre</i>	152.00	480.40	0.00	-0.18
<i>Novembre</i>	164.39	500.50	6.40	-0.37
<i>Dicembre</i>	98.93	351.10	0.00	0.12

Il risultato principale che si evince dalla tabella è che, a differenza di quanto visto per il precedente pluviometro, in questo caso il comportamento ancor più stazionario in tutti i mesi dell'anno con gradienti delle rette sempre inferiori a 1 mm/anno.

Al di fuori di questo fatto, probabilmente sempre dovuti alla maggiore ampiezza del periodo di osservazione, si ritrova nuovamente una buona coerenza tra i valori riscontrati nei due pluviometri; valgono quindi tutte le osservazioni quantitative fatte a commento di Fig.4-7 ma in questo caso, come fatto direttamente legato alla minore entità dei gradienti, si nota che la differenza tra i valori massimi mensili di Tarvisio è inferiore.

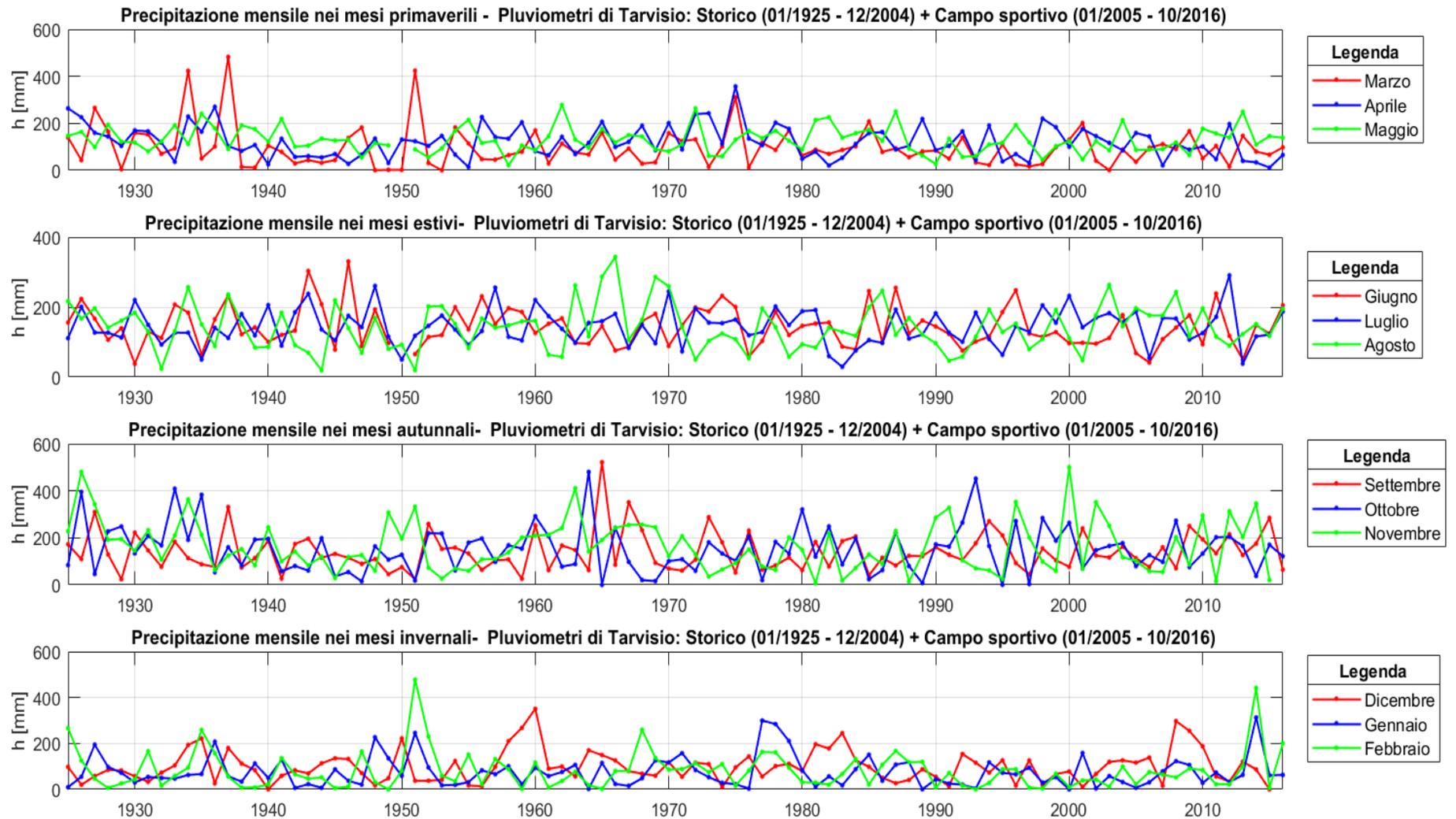


Fig.4-12: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate mensili per ciascun mese – Pluviometri di Tarvisio.

Si può quindi concludere che entrambe le serie storiche hanno evidenziato un comportamento sostanzialmente stazionario che dimostra un comportamento omogeneo in quelle porzioni di bacino idrografico.

È lecito pensare che le lievi differenze riscontrate nelle analisi delle due stazioni siano dovute alla diversa estensione del periodo di osservazione.

L'omogeneità tra i due bacini non è solamente limitata al comportamento tendenziale ma anche agli aspetti pluviometrici quantitativi; infatti si è visto mediamente la piovosità risulta la stessa in entrambe le stazioni e quindi in tutta la porzione settentrionale del bacino idrografico.

Per rafforzare questa ultima affermazione, oltre a tutte le precedenti considerazioni svolte in merito, si riporta (Fig.4-13) anche il semplice andamento delle differenze tra le precipitazioni mensili rilevate dalle due stazioni nel periodo 1970 – ottobre 2016 ipotizzando per i pochissimi dati mancanti che queste siano nulle.

La figura evidenzia benissimo che tale campione possiede:

- media nulla;
- fuso di variabilità centrato rispetto al valor medio;
- comportamento tendenziale (trend) nullo;

Risultati di questo tipo, oltre a confermare costanza della piovosità misurata dalle stazioni, escludono che due serie, in quel periodo, siano soggette a tendenze opposte e quindi confermano che la causa risiede nei primi anni di osservazione della Stazione di Tarvisio.

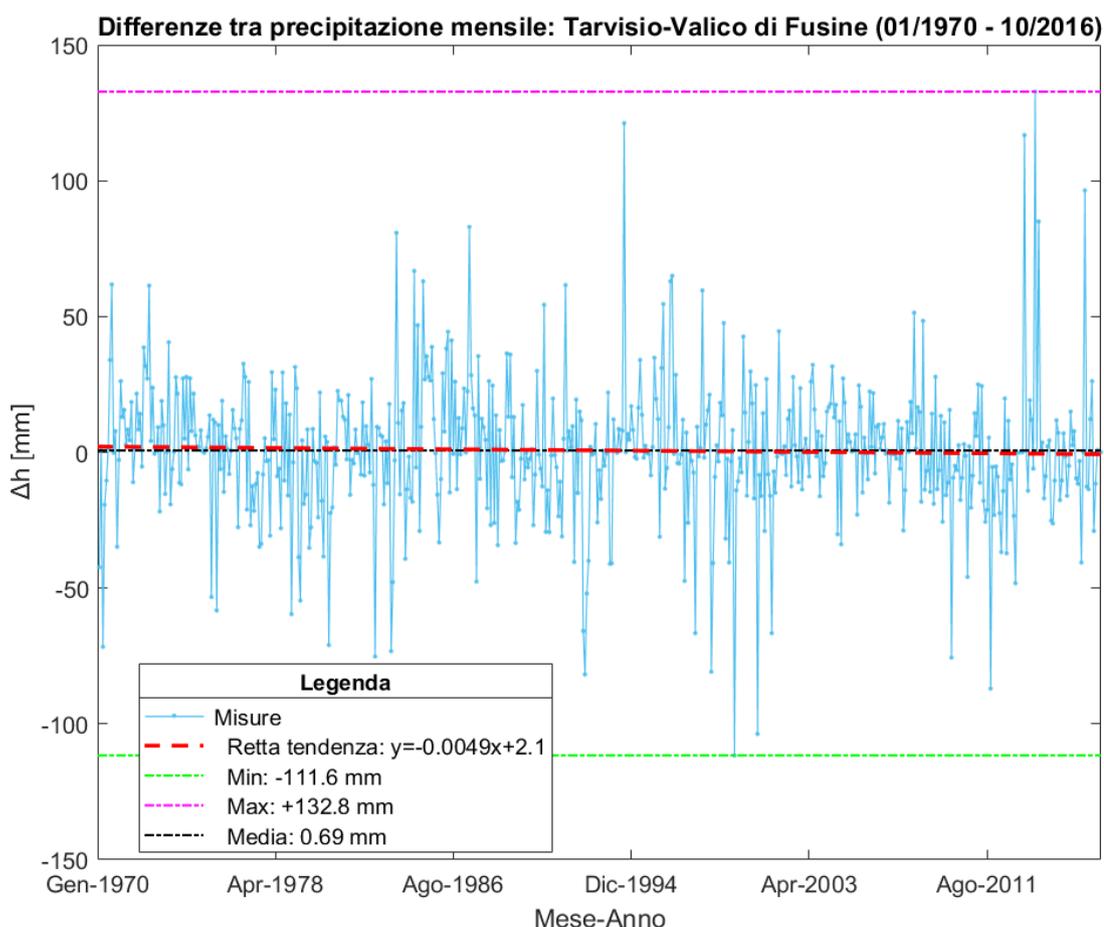


Fig.4-13: Andamento cronologico delle differenze tra le cumulate mensili registrate dai pluviometri di Tarvisio e del Valico di Fusine nel periodo di sovrapposizione della loro attività.

4.1.2.3. Elaborazione delle misure pluviometriche rilevate a Cave del Predil.

In questo paragrafo verranno le ripetute le elaborazioni svolte in quello precedente ma sui dati relativi ai pluviometri di Cave del Predil.

Si ricorda (si veda tabella 4.1.1-I) che il rilievo pluviometrico nella zona di Cave del Predil è stato svolto negli mediante tre stazioni; trascurando quella posizionata sul *Passo del Predil*, la storia delle altre stazioni può essere riassunta come segue:

- dal 01/01/1921 sino al 14/06/2006 è stata attiva la stazione Storica con interruzioni negli anni 1924, 1945, 1949 ÷ 1953 e 1965 ÷ 1967;
- dal 25/01/08 ad oggi è attiva la stazione di Ponte Miniera;

Purtroppo la sostituzione tra le due stazioni è avvenuta senza periodo di sovrapposizione ma al contrario introducendo una lacuna nel rilievo relativa all'anno 2007; tuttavia la nuova stazione è situata a pochi metri dalla posizione storica per cui, è certamente lecito assumere la continuità tra le sue misure e quelle della serie storica.

Quindi la serie storica che sarà analizzata in questo capitolo è quella data dall'unione di quelle delle due stazioni; l'elevata estensione di tale serie, analoga a quella di Tarvisio, è il motivo per cui si decide di elaborarla nonostante le numerose interruzioni presenti.

Come per le altre stazioni è stato svolto un controllo preliminare dei dati a seguito del quale, secondo i criteri decisi ad inizio capitolo, si è operato come segue:

- negli anni 1921, 1922 e 1923 sono mancanti gran parte dei dati mentre nel 1924 la stazione non ha funzionato. Per il periodo 1922-1924 sono disponibili i dati della stazione del Passo del Predil ma, essendo comunque l'inizio della serie si decide di farla partire direttamente dal 1925;
- negli anni di mancato funzionamento riportati nel precedente elenco, visto il numero di dati comunque elevati, e l'assenza di stazioni vicine funzionanti, si è preferito lasciare le lacune piuttosto che inficiare i risultati inserendo pezzi di altre serie storiche;
- il dato di precipitazione mancante del settembre 1967 è stato sostituito con l'omologo rilevato dalla stazione di Cave del Predil;
- i dati mancanti isolati, cioè formanti lacune inferiori ai 4 mesi, sono stati sostituiti con quelli provenienti dalle stazioni di Passo del Predil (04/1927), Plezzut (01/1926, 11/132 e 09/1933) e Tarvisio Storica (11/1931, 10-02/1954 e 01-04/1967) di cui l'ordine di elenco indica anche la preferenza nella scelta.

Per cui di seguito verranno elaborati le precipitazioni cumulate mensili comprese tra il gennaio 1925 e ottobre 2016 che, considerando le lacune, è composto da quasi 83 anni per un totale di 988 dati.

Per prima cosa si riporta l'andamento cronologico completo della serie di precipitazioni (Fig.4-14); da questa, nonostante le lacune, si nota immediatamente come:

- la serie, analogamente alle altre due stazioni, evidenzia un comportamento fortemente stazionario oltretutto mostrando la linea di tendenza con pendenza minore tra tutte viste per le precedenti stazioni;
- il valore medio delle portate risulta comunque ben definito e superiore di circa 50 mm rispetto alle altre due stazioni. Tale valore, sebbene non significante su scala mensile, sembra evidenziare una maggiore piovosità nell'area di Cave del Predil;
- il picco di precipitazione mensile pari a 1046 mm nel novembre del 2000 risulta essere abbondantemente superiore ai corrispettivi delle altre stazioni che erano pari a 521 a Tarvisio misurato nel settembre del 1965 ed a 604 a Fusine misurato anch'esso nel novembre del 2000. Questo indica che, l'area di Cave mostra maggiore piovosità non solo mediamente ma anche per a livello di eventi estremi;
- non sono presenti differenze lampanti per quanto riguarda i minimi il che per le osservazioni precedenti fanno sì che il dominio di variabilità delle precipitazioni a Cave del Predil sia quello più elevato sino ad ora.

Quindi anche per l'area di Cave del Predil la prima analisi della serie storica sembra condurre all'assenza di cambiamenti nel regime delle precipitazioni.

Con lo scopo di verificare quanto detto ed avere altre informazioni sulla piovosità dell'area si costruiscono gli andamenti cronologici dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni mensili nei vari anni (Fig.4-15).

Inoltre essendo l'ultima stazione indagata nello specifico, per fare un confronto, diventa utile riportare una tabella riassuntiva dei trend, dei valori massimi, medi e minimi di suddette serie per le varie stazioni (Tab.4.1.2.3-I)

Tab.4.1.2.3-I: Riassunto delle serie dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni cumulate mensili per le stazioni di Cave del Predil, Tarvisio e Valico di Fusine.

SERIE	<i>Cumulate mensili massime</i>				<i>Cumulate mensili medie</i>				<i>Cumulate mensili minime</i>			
Stazione	h_{max} [mm]	h_{media} [mm]	h_{min} [mm]	Δ [mm/ anno]	h_{max} [mm]	h_{media} [mm]	h_{min} [mm]	Δ [mm/ anno]	h_{max} [mm]	h_{media} [mm]	h_{min} [mm]	Δ [mm/ anno]
<i>Cave del Predil</i>	1046	264	185	-0.16	304	173	90	-0.15	89	26	0	- 0.033
<i>Tarvisio</i>	522	278	168	-0.24	196	124	82	-0.15	82	23	0	0.026
<i>Valico di Fusine</i>	604	273	158	1.5	168	120	87	0.082	79	24	0	-0.25
<i>Si è indicato col simbolo Δ il coefficiente angolare della retta di tendenza della serie.</i>												

Dai diagrammi e dalla tabella appena citati si nota che:

- l'andamento delle rette di tendenza sono essenzialmente identiche a quelle riscontrate a Tarvisio, ossia esse sono praticamente orizzontali per i valori minimi mentre leggermente decrescenti per i valori medi e massimi. Avendo le due serie appena citate la stessa estensione, questo può confermare quanto ipotizzato a conclusione del paragrafo precedente ovvero che la differenza di queste tendenze con quelle di Fusine sia dovuta essenzialmente alla dimensione relativamente ridotta di quest'ultima;
- la serie relativa ai massimi di precipitazione cumulata mensile risulta è composta da valori mediamente molto superiori a quelli delle altre stazioni. Cosa che produce un fenomeno analogo su quella dei valori medi;
- le serie relative ai minimi di precipitazione cumulata mensile sono tra loro molto simili per tutte le stazioni sia nei valori che nella tendenza ma nuovamente i picchi più elevati si riscontrano a Cave del Predil,

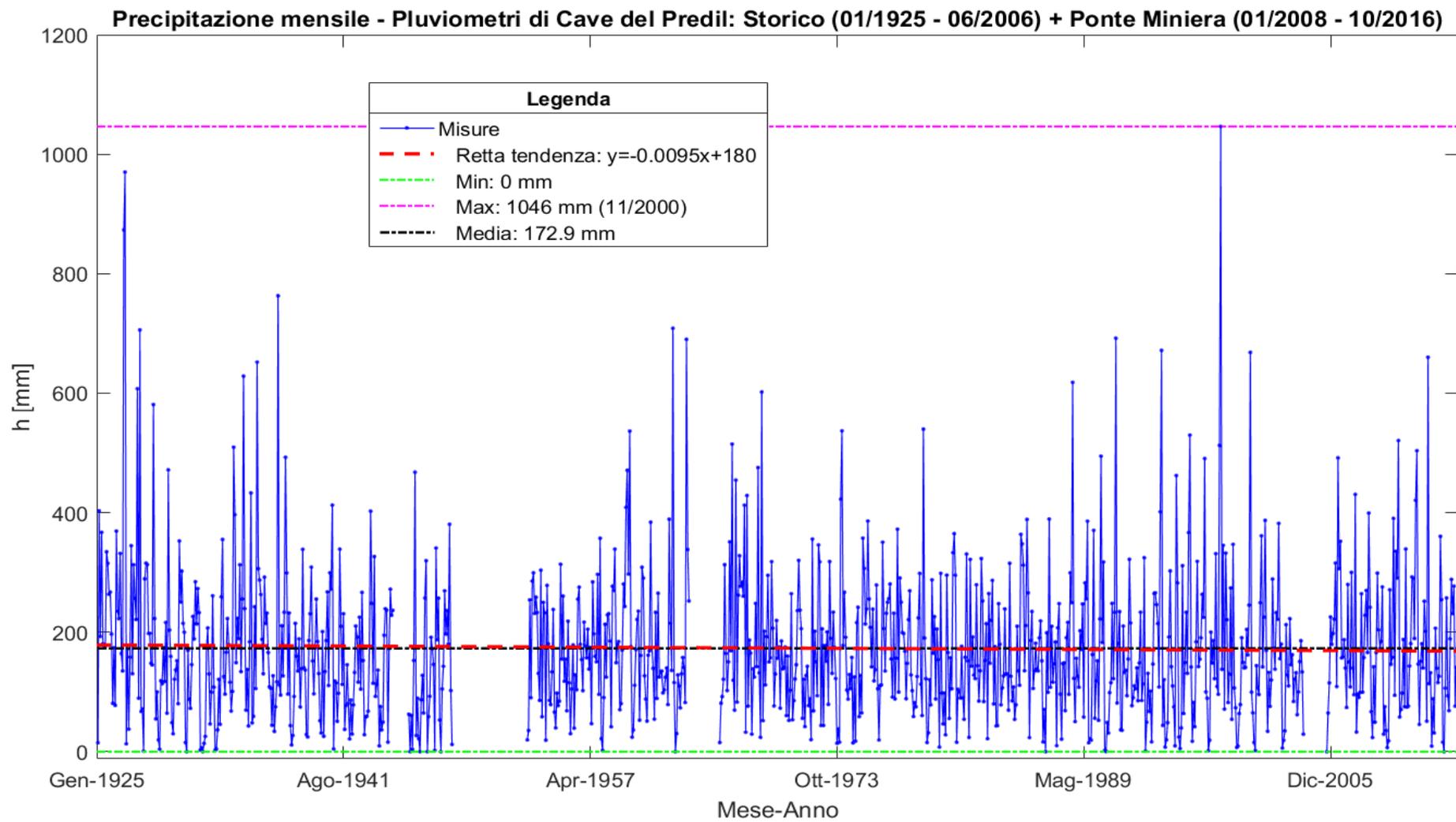


Fig.4-14: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate mensili – Pluviometri di Cave del Predil.

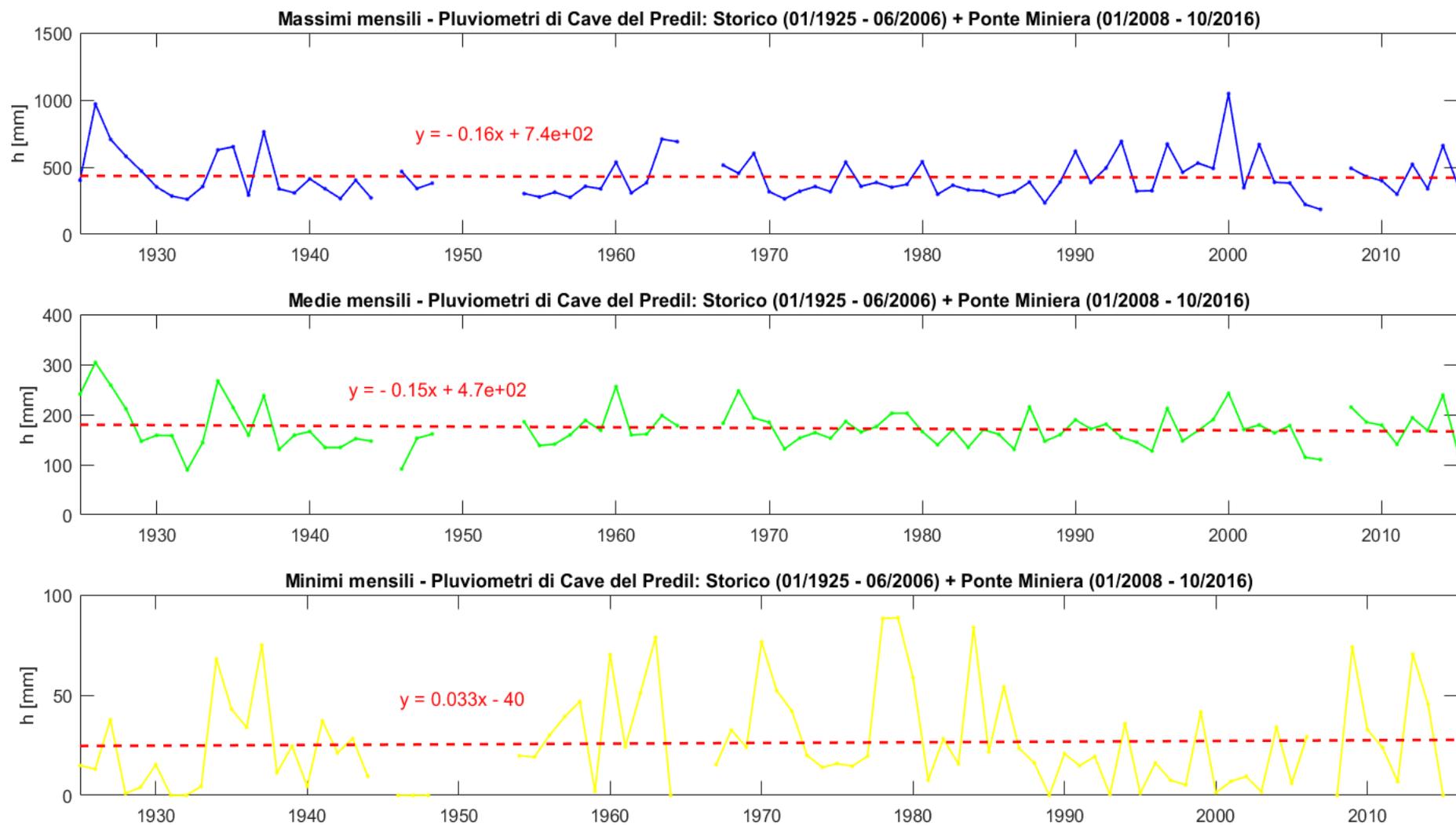


Fig.4-15: Andamento cronologico dei valori massimo, medio e minimo delle precipitazioni cumulate mensili – Pluviometri di Cave del Predil.

A questo punto si procede ad analizzare anche la serie storica relativa alle precipitazioni cumulate annue (Fig.4-16) e si riporta la tabella riassuntiva (Tab.4.1.2.3-II) per un suo confronto con le rispettive delle altre stazioni.

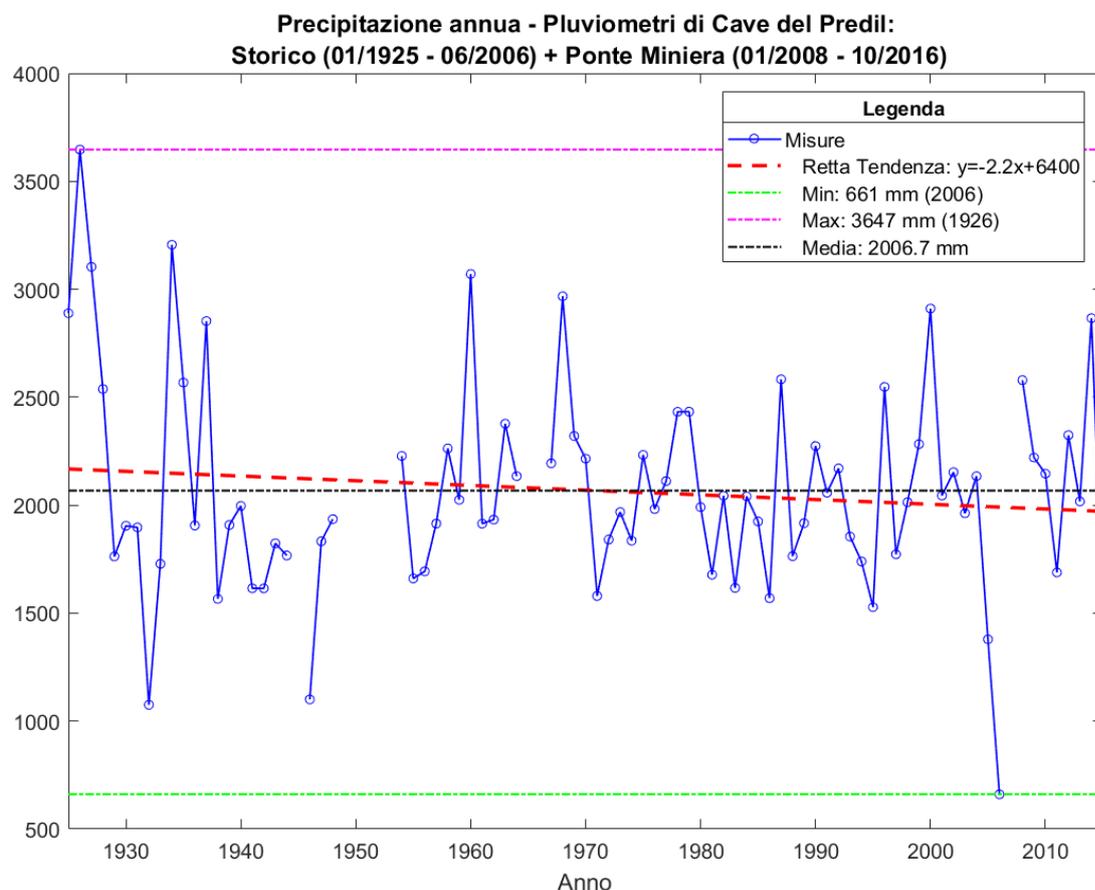


Fig.4-16: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate annue – Pluviometri di Tarvisio.

Tab.4.1.2.3-II: Riassunto dei valori notevoli delle serie delle precipitazioni cumulate annue nelle stazioni di Valico di Fusine, Tarvisio e Cave del Predil.

Stazione	h_{max} [mm]	h_{media} [mm]	h_{min} [mm]	$coeff.ang.$ [mm/anno]
<i>Valico Fusine</i>	3031	1041	1442.5	0.98
<i>Tarvisio</i>	2351	978.3	1491.8	-2
<i>Cave del Predil</i>	3647	661	2006.7	-2.2

Dalla figura appena riportata si deduce che.

- mediamente a Cave del Predil la precipitazione annua è superiore, stavolta in maniera non trascurabile essendo la differenza di circa 500 mm, a quella registrata a Tarvisio e quindi di conseguenza anche a quella di Fusine;
- la decade tra il 1926 ÷ 1936 si conferma essere molto piovosa, in particolare il 1926 che si ricorda è un anno molto piovoso anche secondo la stazione di Tarvisio, risulta essere di gran lunga l'anno più piovoso. Infatti la serie mostra lo stesso trend decrescente di quella di Tarvisio con gradiente praticamente uguale di -2.2 mm/anno anziché -2 mm/anno e comunque non elevato considerando che si stanno trattando precipitazioni annue. Questa osservazione è un'ulteriore conferma che la mancanza di quella decade nella serie di Fusine potrebbe aver influito sulle lievi diversità di tendenza che si sono riscontrate;

- a Cave del Predil si riscontra una precipitazione annua minima inferiore rispetto a quelle delle altre stazioni, il che indica che tutti gli estremi annui si verificano in questa stazione.

Viste gli interessanti spunti forniti dall'analisi delle precipitazioni annue e mensili per una migliore comprensione del regime pluviometrico della zona di Cave del Predil diventa interessante studiare le serie storiche relative alle precipitazioni di ciascun mese. Come fatto in precedenza i risultati vengono riassunti riportando in figura (Fig.4-17) gli andamenti suddivisi per stagione di appartenenza mentre in tabella (Tab.4.1.2.3-III) sono riportati le informazioni del valore massimo, minimo, medio e coefficiente angolare della retta di tendenza per ciascun mese.

Tab.4.1.2.3-III: Valore massimo, minimo, medio e coefficiente angolare della retta di tendenza relativi alle serie cronologiche delle piogge cumulate mensili di ciascun mese – Pluviometri di Cave del Predil.

Mese	h_{media} [mm]	h_{max} [mm]	h_{min} [mm]	$coeff.ang.$ [mm/anno]
Gennaio	97.3	420.6	0	0.35
Febbraio	103.8	503.6	0	-0.0019
Marzo	130.9	763	0	-0.47
Aprile	163.1	537	0	-0.18
Maggio	182.6	433.1	46.8	-0.26
Giugno	198.6	467.8	29.2	-0.7
Luglio	181.6	390.4	26.9	0.022
Agosto	169.6	475.4	15.9	-0.15
Settembre	199.5	607.4	21.9	0.23
Ottobre	244.7	873.3	0	-0.37
Novembre	264.0	1046.4	7.6	-0.13
Dicembre	146.8	536.5	0	0.4

Dalle figure e dalla tabella appena riportate si nota che:

- in ogni mese è evidente un comportamento stazionario delle precipitazioni con valori dei coefficienti angolare delle rette di tendenza molto simili a quelli visti per Tarvisio e quindi di conseguenza inferiori a quelli di Fusine;
- al contrario delle altre stazioni i mesi autunnali si distinguono maggiormente nell'essere i più piovosi;
- invece si ritrova che i mesi mediamente meno piovosi sono quelli invernali mentre quelli estivi hanno le precipitazioni minime più alte;
- i valori minimi relativi a ciascun mese risultano essere inferiori ai corrispettivi delle altre stazioni ed in particolare diversi mesi sono hanno sperimentato precipitazioni nulle; questo può essere parzialmente conseguenza della maggiore quota a cui si trova questa stazione che in inverno favorisce nevicate più abbondanti che nelle altre stazioni.

Si può quindi concludere che tutte le serie storiche analizzate hanno evidenziato un comportamento sostanzialmente stazionario che quindi dimostra un comportamento omogeneo di tutto il bacino nei confronti dei cambiamenti climatici; le lievi differenze riscontrate nelle analisi delle stazioni possono essere essenzialmente imputate alla diversa lunghezza del periodo di osservazione che esiste tra Fusine e le altre ed alla variabilità spaziale delle caratteristiche pluviometriche del bacino tra Cave del Predil e le altre in base alle quali la porzione meridionale risulta più piovosa.

È possibile rafforzare tutte queste affermazioni riportando, come fatto nel precedente capitolo l'andamento delle differenze tra le precipitazioni mensili rilevate dalle stazioni di Cave del Predil con le altre nei periodi di sovrapposizione del funzionamento (Fig.4-18).

Solo per semplicità i diagrammi sono entrambi riportati nell'orizzonte temporale massimo 1925 ÷ 2016.

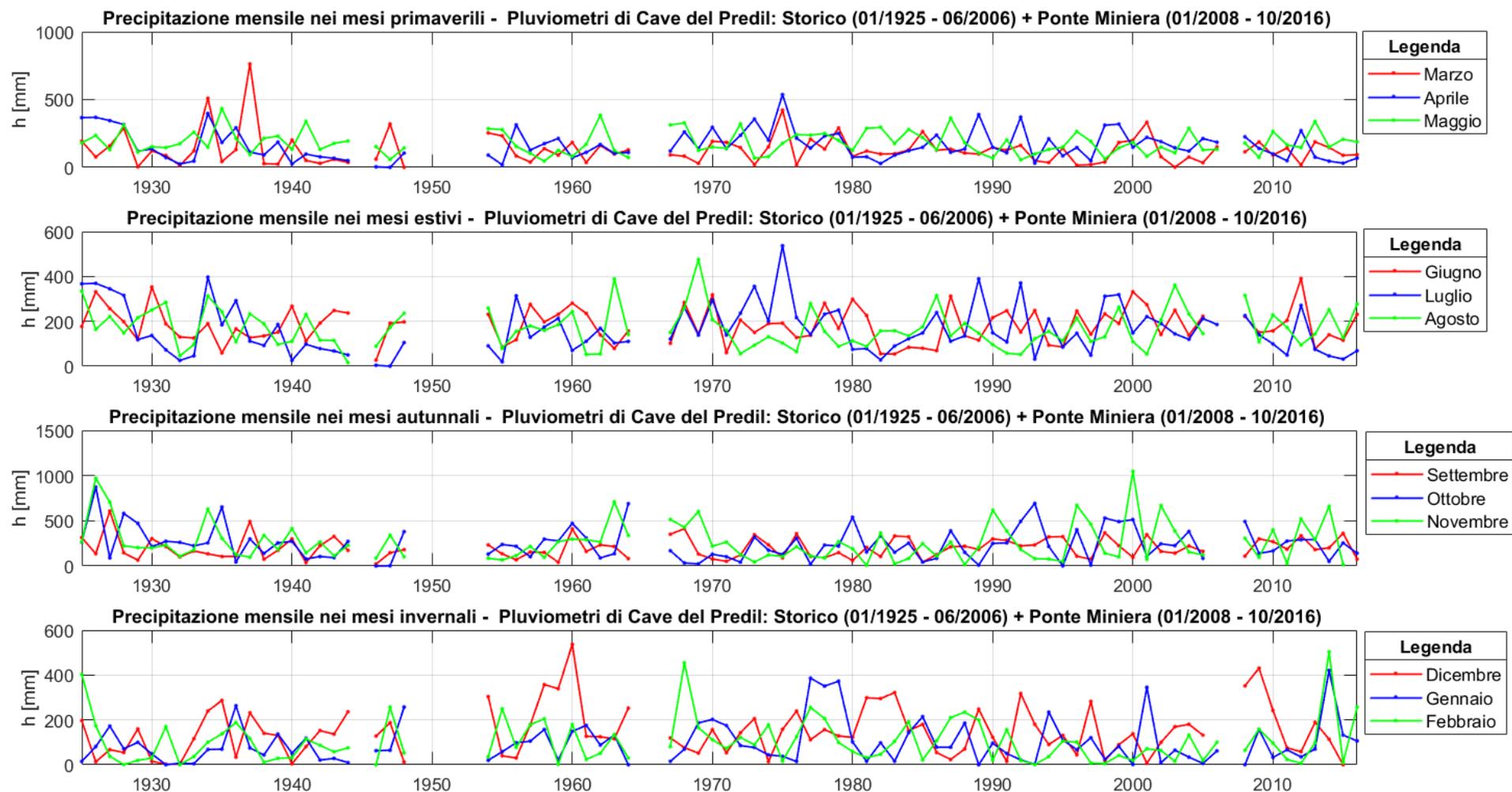


Fig.4-17: Andamento cronologico delle precipitazioni cumulate mensili per ciascun mese – Pluviometri di Tarvisio.

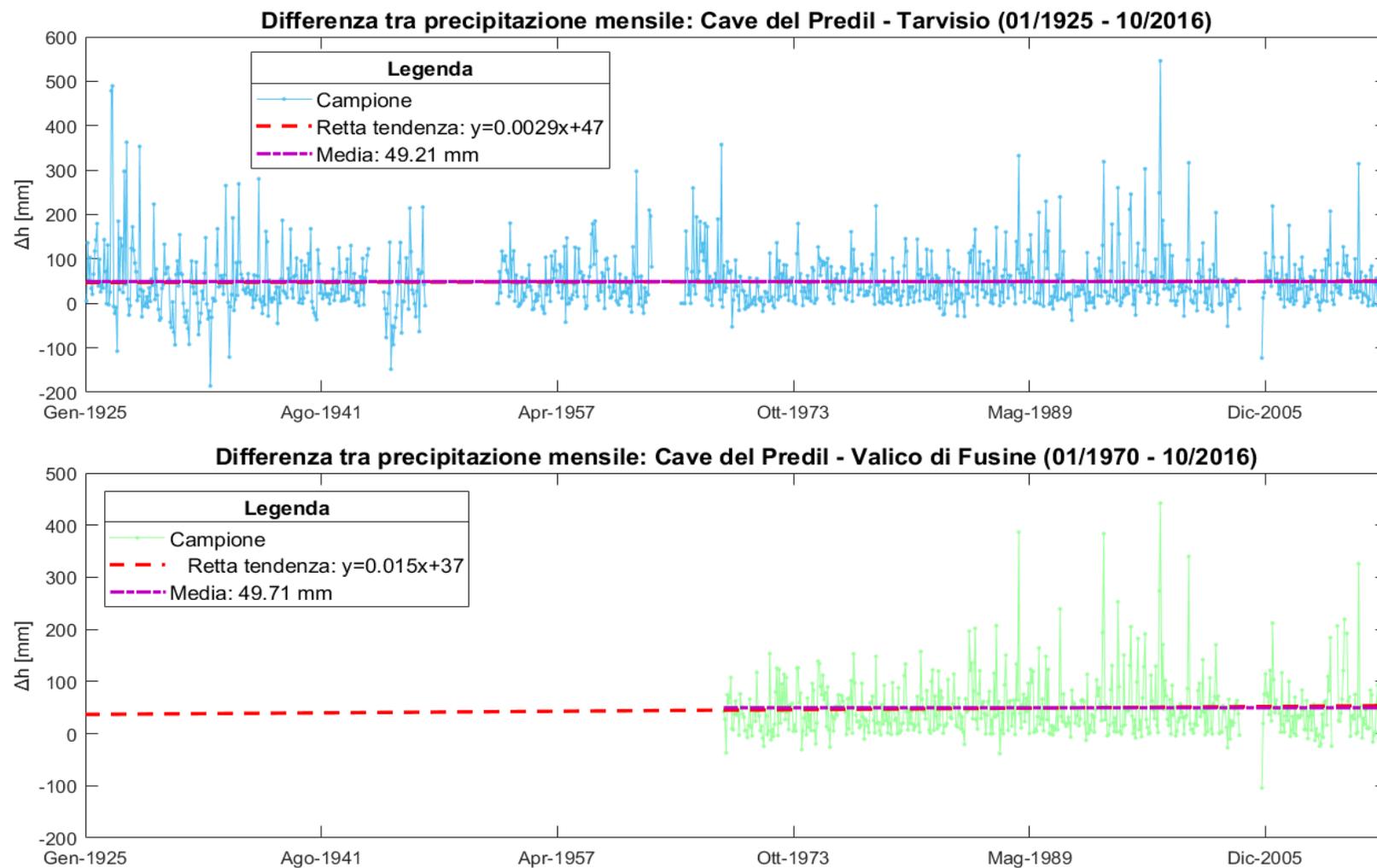


Fig.4-18: Andamento cronologico delle differenze tra le cumulate mensili registrate dai pluviometri di Tarvisio e del Valico di Fusine con quelle registrate a Cave del Predil nel periodo di sovrapposizione della loro attività.

La figura evidenzia benissimo che in entrambe le serie sono caratterizzate da:

- medie non nulle ma praticamente identiche tra loro. Questo conferma la maggiore piovosità della porzione meridionale del bacino idrografico descritta da Cave del Predil (si veda figura Fig.4-3) rispetto a quella settentrionale nella quale il comportamento è omogeneo;
- comportamento tendenziale nullo e quindi assenza di cambiamenti in nessuna porzione del bacino idrografico;
- valori delle differenze molto addensati attorno alla media ad eccezione di un numero molto ridotto di casi legati prevalentemente alla presenza di eventi estremi nel mese. Quest'ultimi, per quanto visto nel presente paragrafo sono più numerosi di quelli in figura Fig.4-13 a causa del comportamento più "estremo", sia in termini di valori massimi che di minimi, della stazione di Cave del Predil.

4.2. Elaborazione dei dati di portata della stazione idrometrica di Thörl.

4.2.1. Descrizione della stazione di misura.

I dati di portata relativi a sezioni strumentate sono quelli della Stazione idrografica austriaca di Thörl gestita dal Servizio Idrografico del Land della Carinzia; essa è situata in località Thörl-Maglern, sul Torrente Slizza poco a monte della confluenza con il fiume Gail (Fig.4-19).

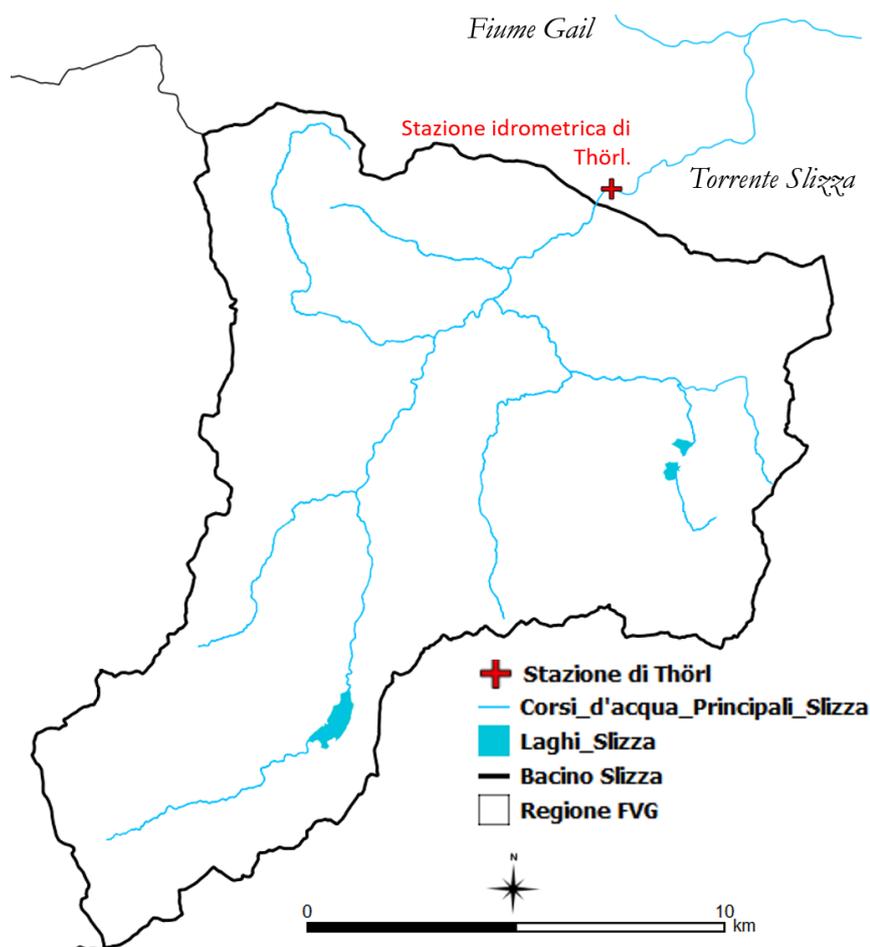


Fig.4-19: Ubicazione della stazione idrografica di Thörl.

Tale stazione di misura è particolarmente preziosa poiché a fronte della generale penuria di misure di portata che si riscontra nel bacino italiano del torrente Slizza essa ha un funzionamento continuo dal 1975 e quindi fornisce un consistente campione di dati che, aggiungendo anche la sua vicinanza geografica, la rende particolarmente affidabile per compiere studi nel territorio circostante ad esempio sfruttando criteri di similitudine idrologica come nel caso in esame a fine capitolo.

Le informazioni relative alla stazione sono riassunte in tabella seguente (Tab.4.2.1-I):

Tab.4.2.1-I: Informazioni relative alla stazione idrometrica di Thörl

Bacino idrografico sotteso dalla sezione di misura [km ²]	188
Zero idrometrico [m s.l.m.]	592.94
Latitudine (Ellissioide di Bessel 1841)	13° 32' 19"
Longitudine (Ellissioide di Bessel 1841)	46° 32' 14"

La stazione (Fig.4-20) è dotata di una caratteristica asta idrometrica inclinata (Fig.4-21) per la lettura diretta dei livelli idrometrici, sistema di rilevamento in continuo dei livelli del corso d'acqua e di una teleferica per la misura delle portate.

Nel caso specifico saranno elaborati i dati di portata media giornaliera relativi al periodo 1975 – 2010 (36 anni) per un totale di 13149 valori giornalieri.



Fig.4-20: Stazione idrografica di Thörl



Fig.4-21: Dettaglio dell'asta idrometrica inclinata della stazione idrografica di Thörl.

4.2.2. Determinazione delle serie cronologiche delle portate del torrente Slizza chiuso Thörl.

Prima di qualunque elaborazione, con i dati a disposizione, sono stati costruiti gli andamenti cronologici di alcuni loro valori notevoli. Questi diagrammi, oltre a dare una semplice rappresentazione visiva delle misure consentendo ad esempio di individuare eventi di piena e di magra, forniscono un importante strumento per individuare eventuali tendenze/trend che caratterizzano il regime idrologico del corso d'acqua.

La conoscenza dell'eventuale trend è ovviamente fondamentale per poter fare valutazioni in merito agli effetti dei cambiamenti climatici ma, come si vedrà in maniera dettagliata in seguito, è anche una informazione necessaria per una corretta valutazione del Deflusso Minimo Vitale ad esempio secondo il metodo Svizzero, che in base alla presenza o meno di un comportamento tendenziale definisce la lunghezza della serie storica da considerare per la determinazione della curva di durata delle portate.

Nel caso in esame, ricordando che il campione è di dati giornalieri e non essendo interessati alla ricerca degli eventi estremi ma bensì della tendenza, si è deciso di utilizzare le portate medie mensili e di costruire andamenti cronologici annui dei seguenti valori:

- valore massimo delle portate medie mensili (Fig.4-22);
- valore minimo delle portate medie mensili (Fig.4-23);
- valore medio annuo delle portate (Fig.4-24);

Nelle legende di suddette figure sono direttamente riportati il valore massimo, medio e minimo di ciascuna serie e l'equazione della retta di tendenza; a tal proposito si precisa da subito che tali rette sono state ricavate sempre sfruttando il *Basic fitting toolbox* presente in *Matlab*.

Si ricorda che l'obiettivo di queste curve nel presente lavoro non è quello di interpolare al meglio i dati o di ricavare una legge temporale di tipo sintetico ma bensì di individuare il trend dei dati al fine di identificare eventuali effetti dei cambiamenti climatici sul bacino idrografico.

Non avendo quindi la pretesa di svolgere estrapolazioni l'unico parametro di interesse sarà il coefficiente angolare delle rette di regressione delle quali invece i valori dei termini noti non sono di nessuna utilità per l'analisi in quanto sostanzialmente dipendono dall'intervallo di anni selezionato in ascissa.

Tenendo conto di quanto appena detto, dai grafici riportati si deduce che nei 36 anni di osservazione:

- il corso d'acqua è caratterizzato da un ampio range di variabilità delle portate ($0.42 \div 128 \text{ m}^3/\text{s}$) a conferma di quanto discusso nel primo capitolo ossia della natura fortemente torrentizia delle aste del reticolo idrografico che, tuttavia, essendo il minimo storico non nullo, non sono tali da conferire anche all'asta principale in esame un comportamento intermittente;
-
- le portate mensili mostrano un'elevata variabilità dei loro valori massimi in particolare negli ultimi 15 anni in cui si sono alternati di picchi elevati e valori veramente esigui. Il contrario si può dire per i valori massimi e medi che invece risultano possedere un fuso più ristretto indice di maggiore addensamento intorno alle rispettive medie. Tuttavia si fa notare che anche per quanto riguarda le portate minime i valori estremi si sono verificati negli ultimi 15 anni di osservazione;
- i valori massimi mostrano una tendenza crescente ben definita in quanto il coefficiente angolare circa unitario; questo è indice che le portate di picco degli eventi di piena starebbero pericolosamente aumentando nel corso degli anni. Nuovamente si trova una situazione opposta sia per i valori medi che i minimi che mostrano un comportamento sostanzialmente stazionario; tuttavia tra i due è interessante notare che, seppur lievissimi, i trend dei valori minimo è crescente al contrario dei valori medi. Questo suggerisce che sebbene si verificano piene e magre con portate superiori il deflusso medio del corso d'acqua è comunque stazionario o al più lievemente decrescente.

Riassumendo, nel quadro dei cambiamenti climatici, come per le precipitazioni, sembrerebbe che il torrente Slizza ne risulti sensibile soprattutto per quanto riguarda le portate massime per le quali si evidenzia un comportamento tendenziale più marcato mentre è sostanzialmente stazionario per i valori medi e minimi.

Bisogna tuttavia tenere conto del fatto che, sebbene il trend delle portate massime sembri molto elevato rispetto a quelli delle precipitazioni, questo può in parte essere imputabile alla ridotta estensione di questa serie rispetto a quella delle misure pluviometriche.

In tali condizioni è evidente che la possibile presenza di eventi con tempi di ritorno elevati nell'intervallo di osservazione è tale da possedere una maggiore influenza nella determinazione del comportamento tendenziale.

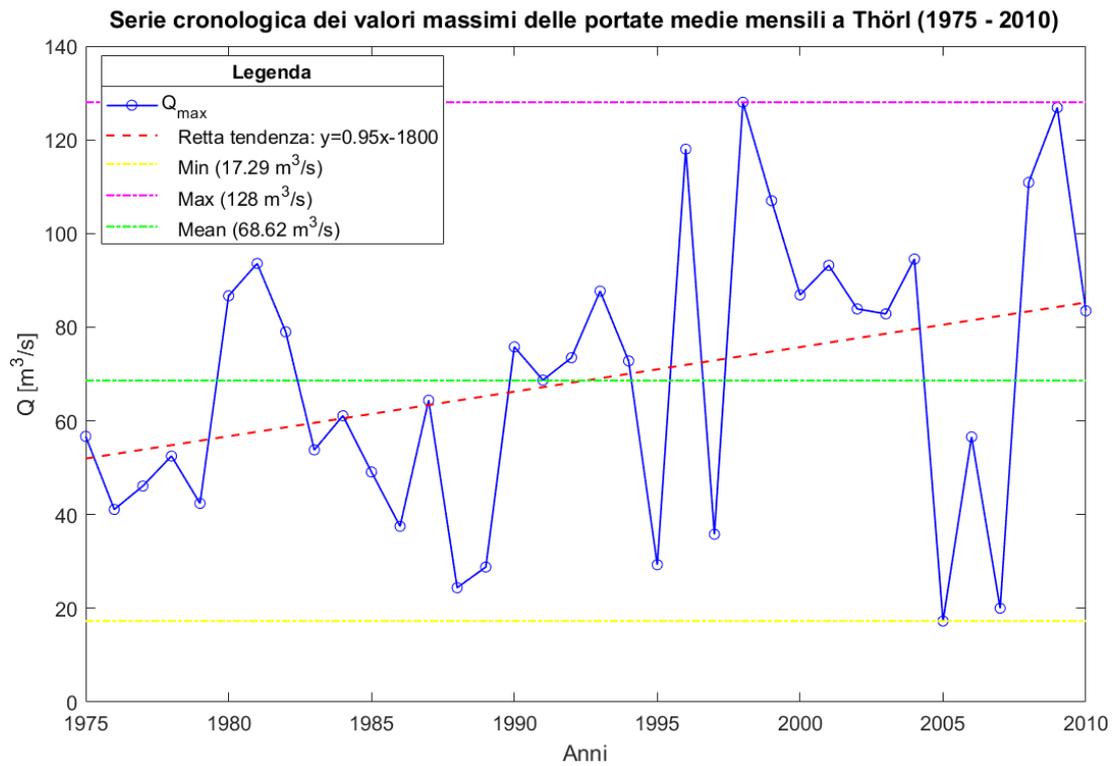


Fig.4-22: Andamento cronologico dei massimi annui delle portate medie mensili a Thörl.

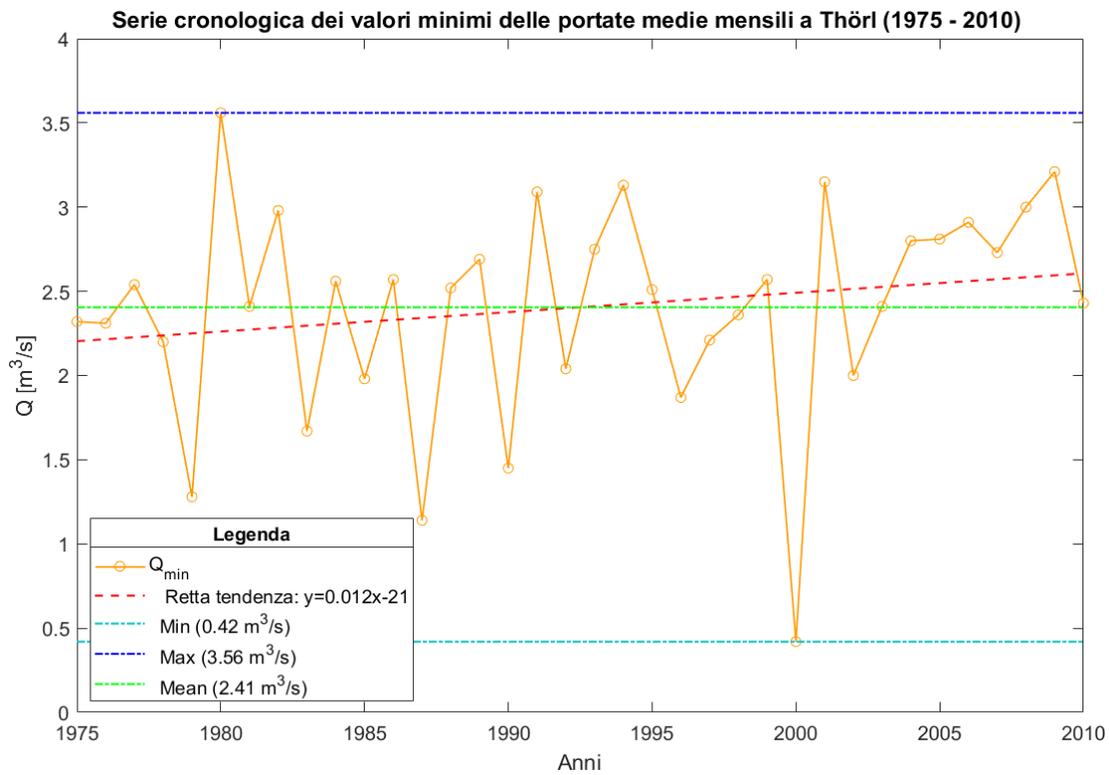


Fig.4-23: Andamento cronologico dei massimi annui delle portate medie mensili a Thörl.

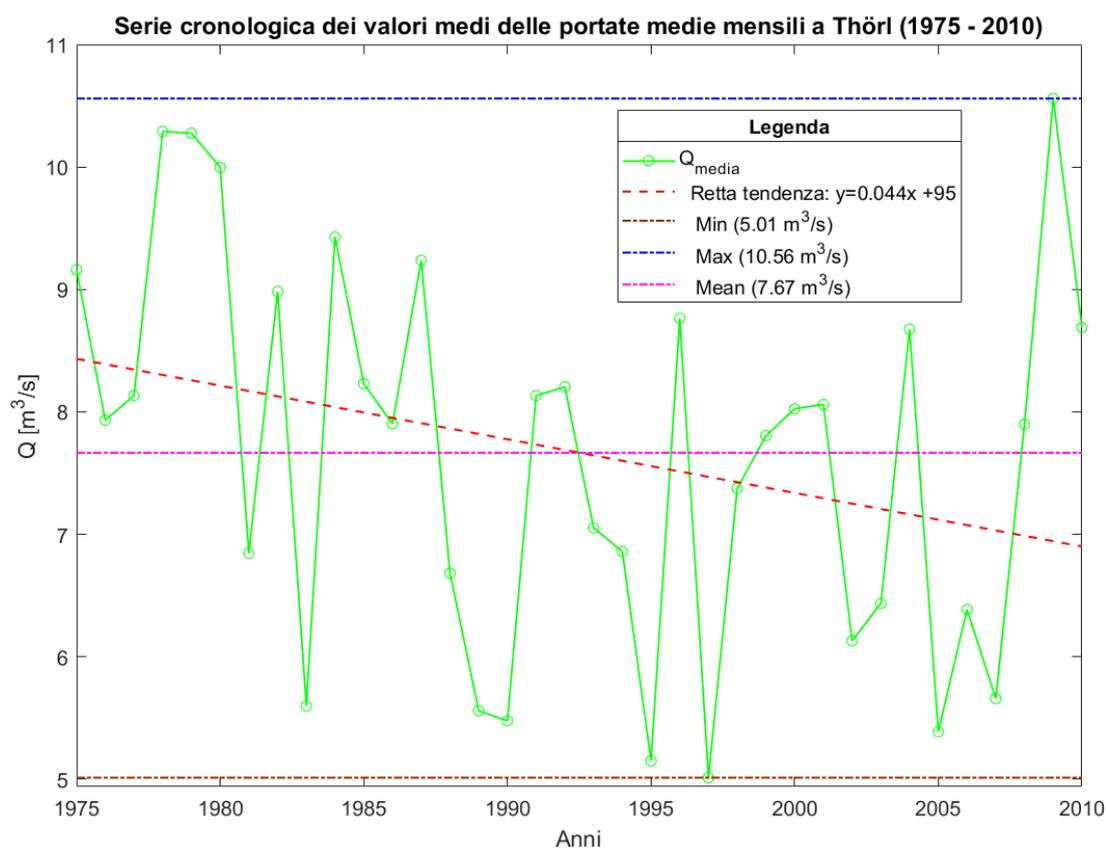


Fig.4-24: Andamento cronologico delle portate medie annue a Thörl.

Per completare le informazioni appena ottenute, si riportano anche gli andamenti cronologici delle portate mensili di ciascun mese suddividendoli, per concentrare le informazioni, in funzione delle stagioni di appartenenza (Fig.4-25): primavera, estate, autunno e inverno e se ne riportano in tabella (Tab.4.2.2-I) le informazioni statistiche fondamentali quali i valori massimo, medio, minimo e pendenza della retta di tendenza.

Si precisa che anche in questo caso, nell'interesse di uno studio di regime, anche nei grafici suddetti sono riportati i valori medi mensili di portata.

Dai diagrammi e dai valori in tabella si nota che:

- coerentemente con i risultati dell'analisi pluviometrica:
 - i mesi in cui le portate medie sono più alte sono quelli autunnali e primaverili di cui il più alto valori si ha in maggio;
 - i massimi mensili i valori più elevati si trovano in autunno con picchi in ottobre e novembre;
 - i minimi mensili risultano molto simili anche tra i vari mesi il che anticipa quello che è il carattere permanente del corso d'acqua che verrà dimostrato nel successivo paragrafo realizzando le curve di durata delle portate;
- essi essenzialmente confermano che, anche fissando il mese, si possono considerare valide le osservazioni fatte per tutte le figure precedenti ossia non vi è presenza di un trend marcato delle portate nel tempo.

Questo risultato è anch'esso conseguenza ovvia dei risultati dall'analisi pluviometrica che ha dimostrato l'assenza di variazioni del regime delle piogge in tutto il bacino idrografico. Tuttavia è comunque utile notare che i valori massimi del coefficiente angolare delle rette di tendenza si trovano nei mesi di maggio e giugno in cui è decrescente e in novembre in cui è

crescente. L'entità di questi gradienti, essendo dell'ordine di 0.2, è tale da escludere che la causa siano cambiamenti climatici ma sarà invece probabilmente dovuta alla presenza di eventi con tempo di ritorno più elevato che sono quindi, a seconda dell'anno in cui ricadono, influenzano l'inclinazione della retta;

- nei mesi estivi in cui si nota una lieve tendenza decrescente della portata media che porta le serie ad essere dei 3 mesi quasi coincidenti.
Questo fatto sembra indicare una omogeneizzazione del regime idrico nei 3 mesi, cosa che in effetti è coerente con l'analisi delle piogge svolta nei precedenti paragrafi che mostrava in qualunque stazione l'assenza di un trend anche nei mesi estivi (si vedano figure Fig.4-7, Fig.4-12 e Fig.4-16);
- le variazioni di portata nei mesi invernali sono estremamente ridotte probabilmente a causa della prevalenza di precipitazioni nevose che riducono l'apporto idrico per ruscellamento; si trova però eccezione nel mese di dicembre dove tale assunzione è più incerta rendendolo quindi mese sensibile per lo studio dei cambiamenti climatici.
Tuttavia, sebbene i massimi valori di portata media a dicembre si ritrovano nell'ultima decade (2003 e 2009) essi sono comunque comparabili a quello del 1975 il che suggerisce di escludere, almeno in questo caso, la presenza di un trend sui massimi di portata come invece ipotizzato commentando Fig.4-22 ma bensì quella di un aumento di frequenza del fenomeno;
- le medesime considerazioni fatte per i mesi estivi possono essere estese al mese di settembre mentre quelle dei mesi invernali al mese di marzo. I restanti mesi autunnali e primaverili, che sono classicamente i più piovosi e quelli che raccolgono i deflussi dovuti allo scioglimento delle nevi, evidenziano una buona variabilità delle portate sebbene, si ribadisce, senza un marcato trend.

Tab.4.2.2-I: Valore massimo, minimo, medio e coefficiente angolare della retta di tendenza relativi alle serie cronologiche delle portate medie mensili di ciascun mese – Stazione di Thörl.

Mese	Q_{media} [mm]	Q_{max} [mm]	Q_{min} [mm]	$coeff.ang.$ [m ³ /s/anno]
<i>Gennaio</i>	4.63	15.17	2.36	0.028
<i>Febbraio</i>	4.1	10.01	2.22	-0.02
<i>Marzo</i>	5.11	13.28	2.78	-0.00035
<i>Aprile</i>	9.33	25.03	3.15	-0.04
<i>Maggio</i>	12.23	21.95	3.15	-0.22
<i>Giugno</i>	10.07	23.77	3.07	-0.27
<i>Luglio</i>	8.24	20.48	3.98	-0.19
<i>Agosto</i>	5.57	11.39	3.68	-0.024
<i>Settembre</i>	6.63	13.23	2.96	-0.047
<i>Ottobre</i>	9.88	33.58	2.41	-0.036
<i>Novembre</i>	9.67	26.1	2.71	0.16
<i>Dicembre</i>	7.64	25.16	2.15	0.073

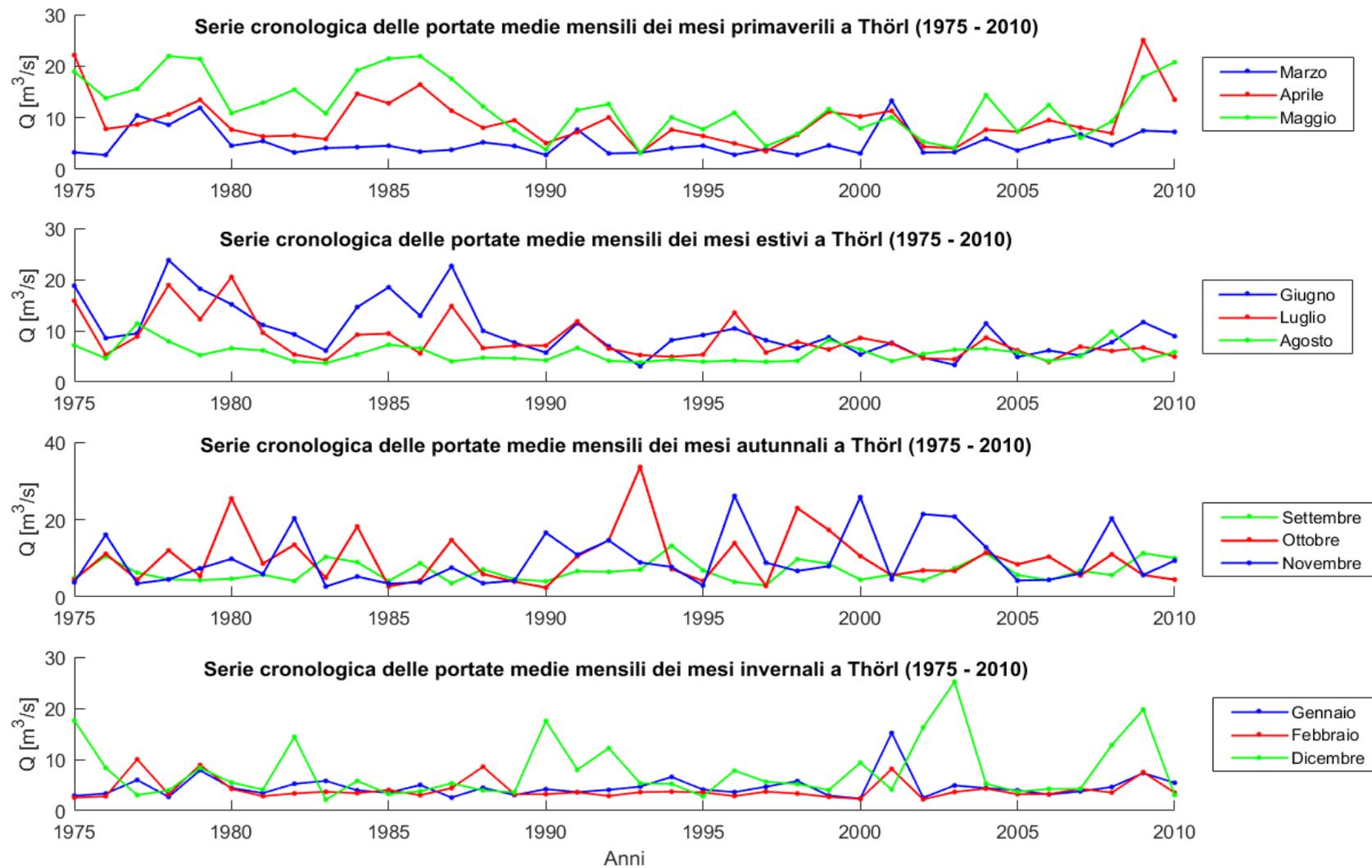


Fig.4-25: Andamento cronologico delle portate medie mensili dei vari mesi a Thörl.

4.2.3. Determinazione delle curve di durata delle portate del torrente Slizza chiuso Thörl.

Data una sezione, la curva di durata delle portate o FDC (*Flow Duration Curve*) è un diagramma che mostra l'andamento delle portate in funzione dell'intervallo di tempo in cui queste sono uguagliate o superate; in altri termini essa descrive la relazione tra la magnitudo e la frequenza dei deflussi del corso d'acqua.

Tale curva è indubbiamente uno tra i più importanti strumenti informativi per lo studio del regime idrologico di un corso d'acqua del quale descrive l'intero campo di variazione dei deflussi (Smakhtin, 2001) quindi sia il comportamento in fase di piena, descritto dal tratto iniziale della curva, che quello in condizioni di magra, descritto dal tratto finale della curva; invece il suo integrale rappresenta invece il volume totale d'acqua transitante nel corso di un anno per la sezione di chiusura considerata.

Gli impieghi ingegneristici della curva di durata delle portate sono molteplici, solo per citarne alcuni:

- derivazioni idriche da corpi superficiali ad usi idroelettrici, di approvvigionamento, ecc...;
- valutazione del potenziale idroelettrico di un impianto;
- valutazione del deflusso minimo vitale;
- analisi di frequenza delle piene e delle magre;
- analisi dei trend per valutare gli effetti dei cambiamenti climatici;

In generale una curva di durata delle portate può essere costruita sfruttando i dati di portata annuali, mensili o giornalieri; tuttavia sono quest'ultimi quelli più comunemente utilizzati e che danno le curve più caratteristiche e di maggior interesse idrologico.

Inoltre non è raro riferirsi a curve di durata normalizzate nelle quali la portata viene rapportata ad esempio col suo valore medio calcolato nel periodo di riferimento della curva, mentre le durate vengono espresse come percentuali dello stesso periodo; questo consente di confrontare tra loro curve relative a periodi di diversa entità o relative a bacini differenti o anche di corsi d'acqua differenti.

In effetti un fattore fondamentale per quanto riguarda la determinazione delle curve di durata delle portate è la scelta del periodo di riferimento; trascurando, non essendo il caso in esame, l'eventualità di periodi inferiori all'anno e supponendo di avere a disposizione più anni di osservazione in letteratura si individuano principalmente due approcci (Smakhtin, 2001):

- si elaborano contemporaneamente tutti i valori osservati nell'intero periodo di rilievo disponibile per costruire un'unica curva di durata definita Curva di Durata Totale (Vogel and Fennessey, 1994) che di seguito si indicherà con l'acronimo TFDC (*Total Flow Duration Curve*);
- si ricavano le curve di durata per ciascun anno di osservazione dette AFDC (*Annual Flow Duration Curve*) e analizzarle statisticamente in modo da ricavarne i vari momenti e farne considerazioni sui tempi di ritorno (FREND - *Flow Regimes from Experimental and Network Data*, 1989; Smakhtin et al., 1997).

Ovviamente, oltre a quanto appena detto, l'analisi statistica di un campione di AFDC consente di cogliere in maniera migliore le caratteristiche stagionali, sia nel singolo anno che in più anni, del regime idrologico dei corsi d'acqua, inoltre consente di "tamponare" la presenza di eventi estremi straordinari, che siano secche o piene, avvenuti nel periodo di osservazione e che nuocciono allo studio di regime ed infine consente di fare valutazioni sugli effetti dei cambiamenti climatici.

Però come in ogni analisi statistica (cosa che quindi non avviene nel precedente approccio), si ottengono delle curve di durata in cui i valori di portata non sono più quelli misurati e quindi realmente fluenti nella sezione in un giorno dell'anno, e pertanto, oltre alla perdita di informazioni certe quali ad esempio valori massimi e minimi di portata, l'anno di riferimento viene detto *Anno Ipotetico*.

Principalmente questo approccio viene utilizzato al fine di caratterizzare il comportamento idrologico medio del corso d'acqua, cosa che viene solitamente fatta ricavando la curva media di durata delle portate; tuttavia vari studi suggeriscono che questo rimane meglio descritto dalla curva mediana di durata nella quale, per definizione di mediana, restano utilizzati i valori misurati di portata sebbene anch'essa sia riferita ad un anno ipotetico e quindi non è detto che tutti i valori siano stati misurati nello stesso anno.

In ogni caso, per quanto detto in precedenza, tra le due curve non vi dovrebbero essere differenze notevoli a meno della presenza di importanti fenomeni avvenuti nel periodo di osservazione.

Nel proseguo di questo paragrafo si ricaveranno tutte le curve appena definite e rimandando a quelli successivi i temi dei metodi di regionalizzazione e di similitudine idrologica che verranno utilizzati per ricavarle nelle sezioni non strumentate.

Per prima cosa sono state determinate le AFDC per tutti gli anni di osservazione, questo mediante un semplice ordinamento decrescente delle portate medie giornaliere misurate (Fig.4-26).

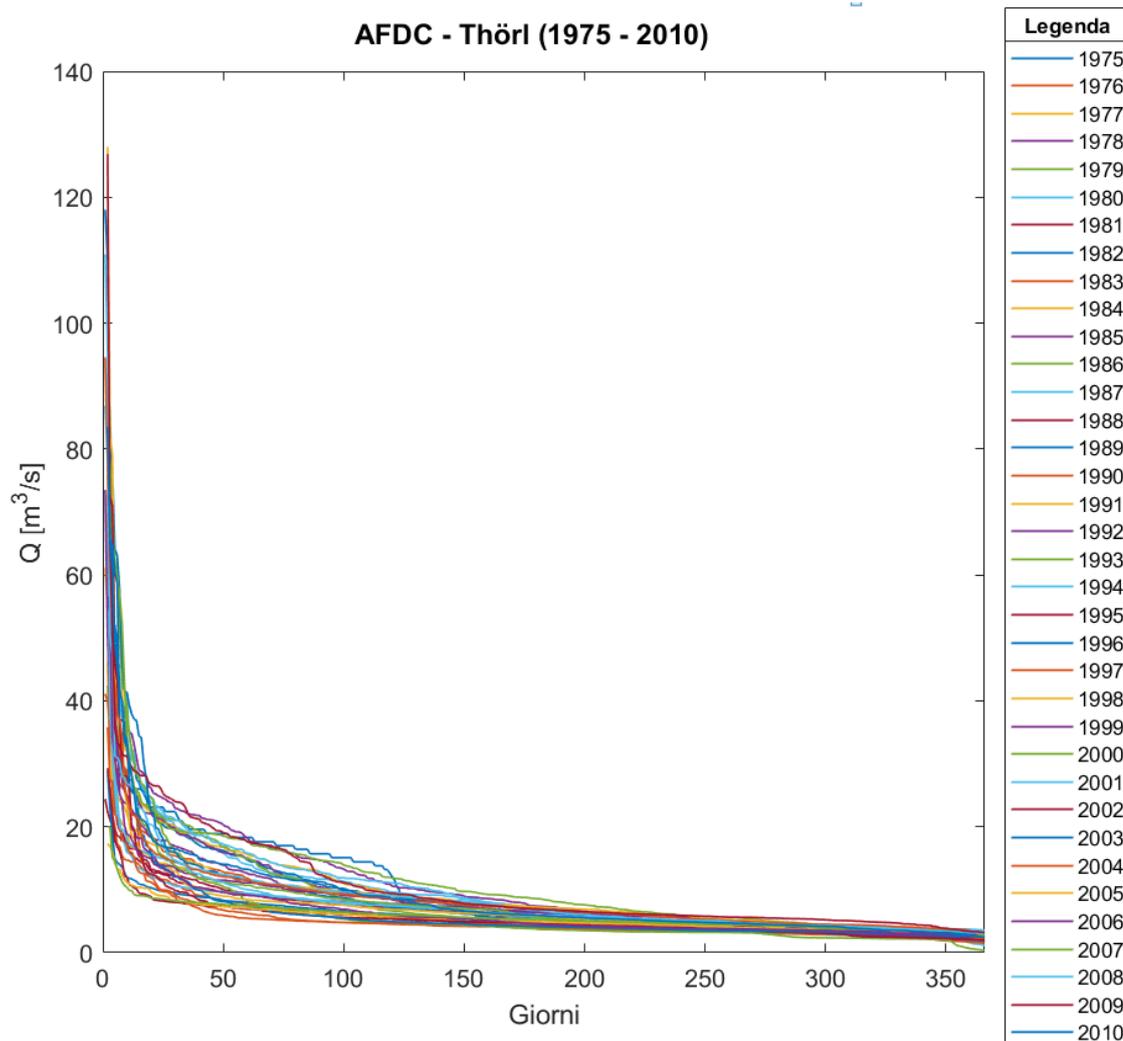


Fig.4-26: Curve annue di durata delle portate a Thörl (1975 – 2010).

Dalla figura si nota che:

- si ritrovano i valori massimi (128 m³/s nel 2009) e minimi (0.42 m³/s nel 2000) del paragrafo precedente; quindi si nota anche graficamente che negli anni non si sono mai registrati valori nulli di portata media sulla sezione di misura del corso d'acqua che quindi non possiede carattere intermittente ma bensì permanente;
- la larghezza del fuso di variabilità individuato dalle curve non è assolutamente trascurabile risulta essere fortemente dipendente dalla durata considerata.

A dimostrazione di ciò si riportano in figura (Fig.4-27) gli inviluppi di massimo e di minimo delle curve di durata che delimitano il fuso ed i valori della sua ampiezza nei vari anni; si nota che questa ha lo stesso andamento delle curve di durata con un valore massimo di $110.71 \text{ m}^3/\text{s}$ ed un minimo di $1.95 \text{ m}^3/\text{s}$.

Queste enormi differenze tra i tratti iniziali delle curve sono conseguenza delle forti oscillazioni delle portate e soprattutto dei loro massimi notate nelle serie cronologiche (Fig.4-6) nell'ultima decade e che risultano evidenti riportando le AFDC relative agli anni 2000, 2005 e 2009 che sono rispettivamente gli anni in cui si presentano la magra più severa, la minima piena e la massima piena (Fig.4-28);

- per quanto riguarda i possibili effetti dei cambiamenti climatici, come anche visto negli andamenti cronologici, non è stata notata nessuna variazione sistematica, come prevedibile visti i risultati dell'analisi degli andamenti cronologici, nelle curve ad eccezione di una tendenza di queste ad essere più "schiacciate" sull'asse delle ordinate a causa del lieve aumento dei massimi che mostrava Fig.4-22.

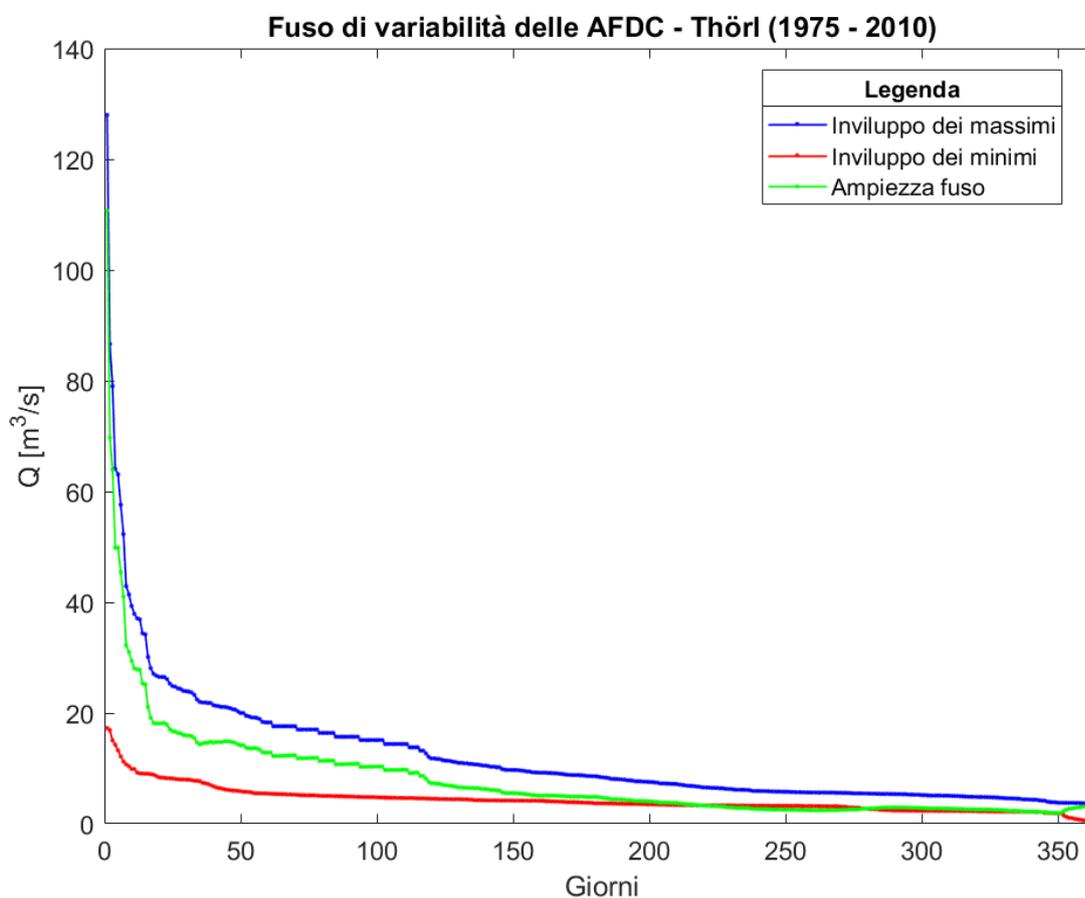
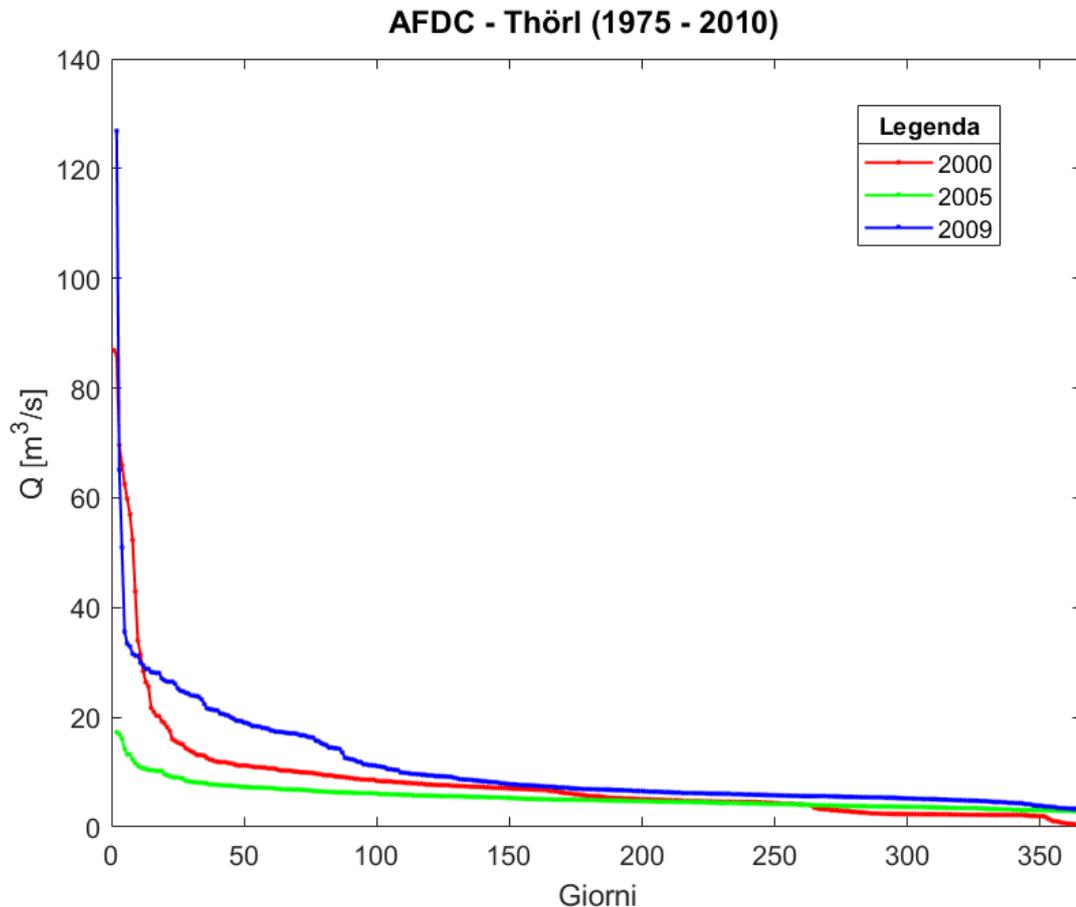


Fig.4-27: Fuso di variabilità delle AFDC ed ampiezza dello stesso a Thörl.



Noto il campione delle curve di durata annue, proseguendo con l'approccio descritto in precedenza, se ne determinano immediatamente la curva media e la curva mediana nell'anno ipotetico (Fig.4-29). Come ci si aspettava, vista l'assenza di numerosi eventi estremi, le due curve sono praticamente coincidenti però la mediana ha ovviamente un andamento un po' meno regolare usando valori misurati e non mediati, in tutto il dominio con unica inevitabile differenza nei primi 3 valori dove, a causa delle piene avvenute, nella mediana risultano più alti di circa 20 m³/s che nella media.

Ancora una volta questo conferma la sostanziale stazionarietà delle condizioni di magra dello Slizza mentre una maggiore variabilità per quelle di piena.

Essendo interesse dell'elaborato volto soprattutto al ramo finale della curva diventa sostanzialmente indifferente la scelta tra le due.

Un'altra informazione, fondamentale per il proseguo, che si può ricavare seguendo questo approccio riguarda la Q_{347} ; alla luce di quanto fatto, di questa portata notevole utilizzata per la stima del Deflusso Minimo Vitale secondo il metodo Svizzero, si riportano l'andamento cronologico nonché la sua media e la mediana nel periodo di osservazione (Fig.4-30) notando che:

- non vi è alcuna differenza sostanziale tra il valore medio ed il mediano;
- come accadeva per i valori minimi Q_{365} , la Q_{347} manifesta un comportamento sostanzialmente stazionario; tuttavia, come si motiverà in seguito nel capitolo 6 relativo al calcolo del Deflusso Minimo Vitale, è molto importante sottolineare la lievissima tendenza crescente potrebbe non essere trascurabile se si fossero analizzati solo gli ultimi 10 anni della serie.

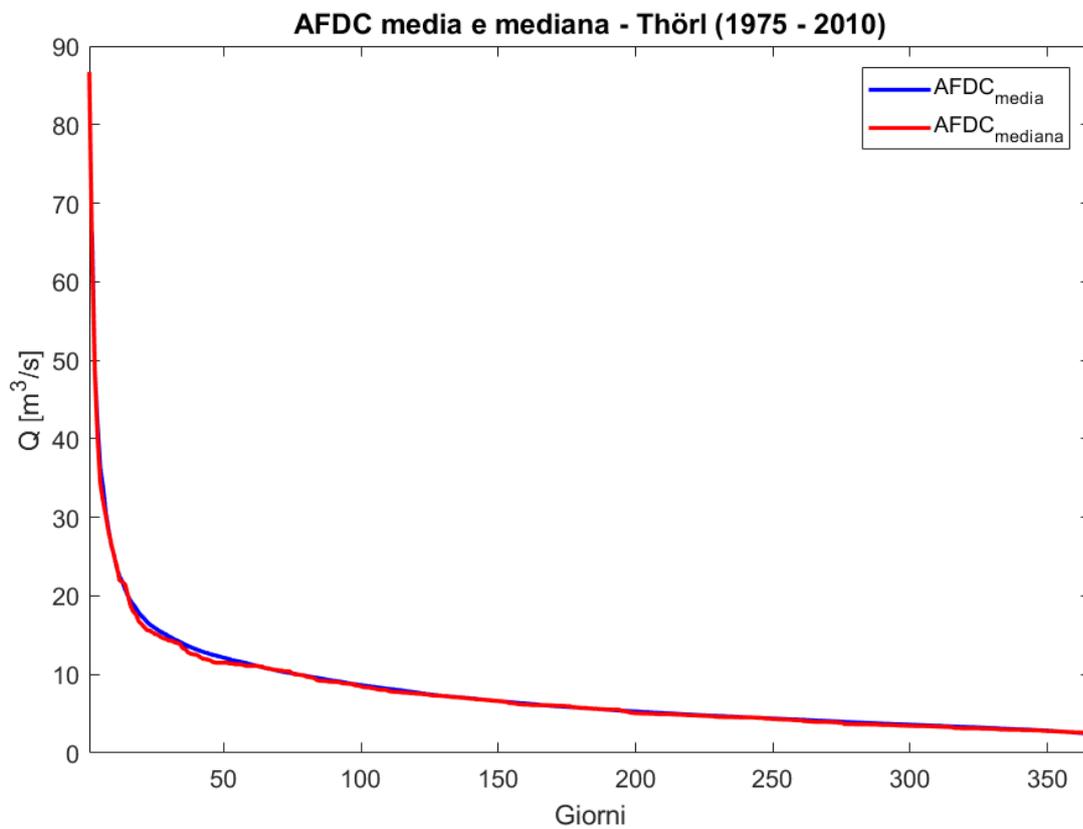


Fig.4-29: Curve media e mediana di durata delle portate a Thörl

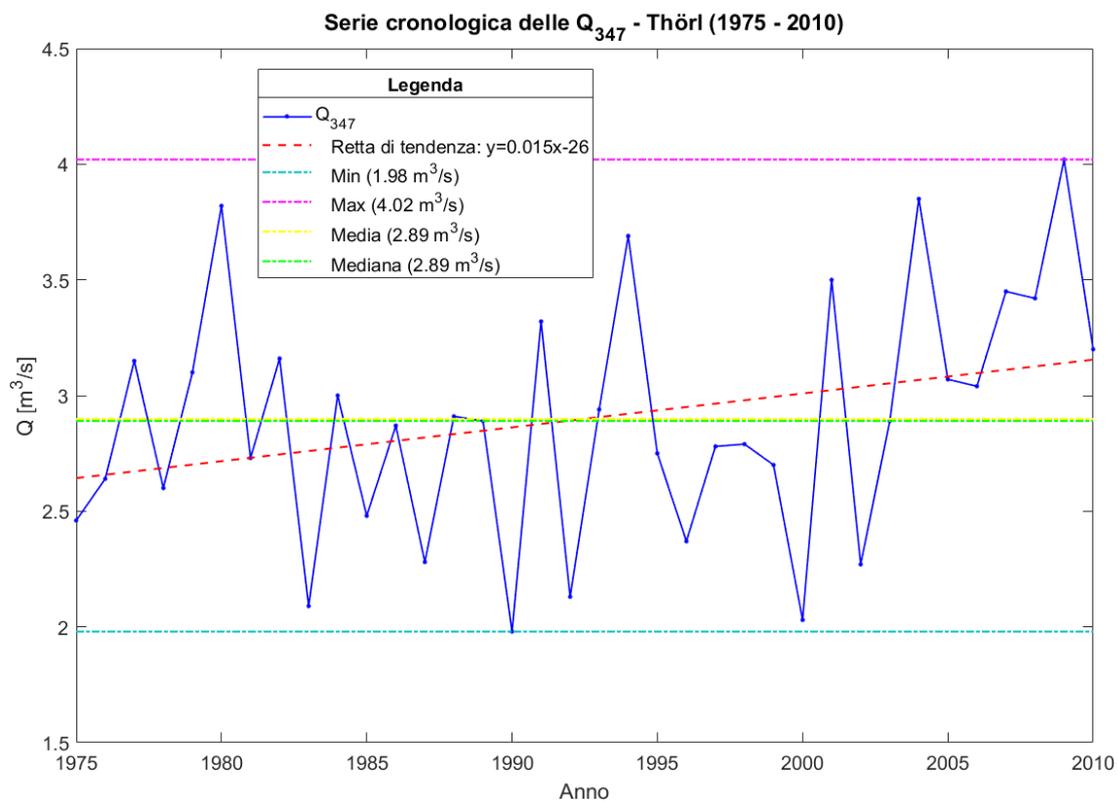


Fig.4-30: Andamento cronologico delle Q_{347} a Thörl.

A questo punto è anche possibile generare la curva di durata totale; al fine di poter eseguire un confronto con le altre curve di durata annue, tutte verranno espresse nella loro forma normalizzata descritta ad inizio capitolo

In figura seguente (Fig.4-31) si riporta tale curva e la curva media di durata annua; come si nota da questa, le due curve sono sostanzialmente coincidenti ma il fatto che la TFDC riporti tutti i dati misurati nei 36 anni comporta che queste differiscano pesantemente solo in corrispondenza dei valori massimi e minimi.

In tabella seguente (Tab.4.2.3-I) si riportano i valori notevoli di portata per le due curve, ricordando che la Q_{347} su queste curve corrisponde al deflusso con una frequenza di superamento del 95 %.

Coerentemente con quanto detto pocanzi ed a inizio paragrafo, in tabella si osservano le importanti differenze per i valori estremi e la sostanziale coincidenza per i valori intermedi.

Visto che l'interesse dell'elaborato è maggiormente volto alla valutazione dei valori medio e Q_{347} si può quindi concludere che la scelta dell'approccio di studio delle curve di durata sarà sostanzialmente ininfluenza sui risultati.

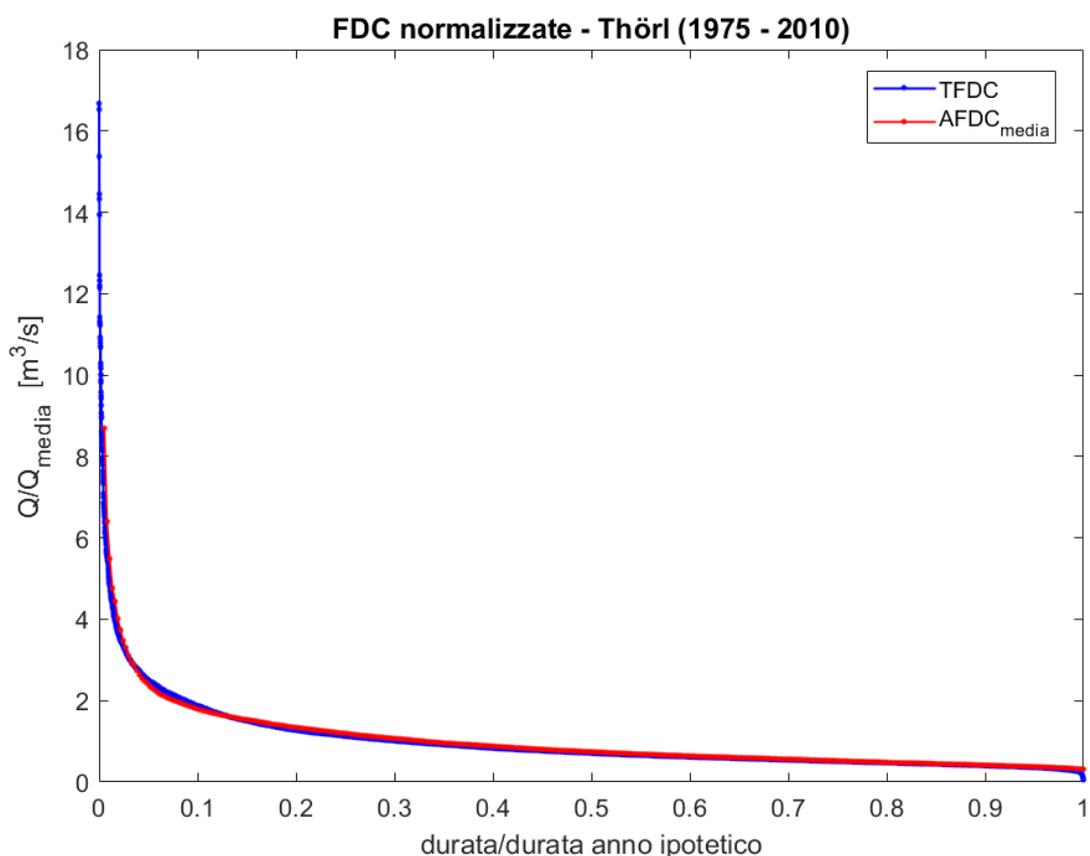


Fig.4-31: Curve di durata delle portate normalizzate a Thörl.

Tab.4.2.3-I: Portate notevoli da TFDC e AFDC media

Portata [m ³ /s]	TFDC	AFDC media
Q_{max}	128	66.33
Q_{min}	0.42	2.40
Q_m	7.68	7.62
Q_{347}	2.72	2.89

Appurato che la tipologia di analisi non influisce sui valori di interesse delle curve, diventa importante ricordare che l'approccio mediante curve di durata annue permette il grande vantaggio di avere un campione che può essere elaborato statisticamente.

Fino ad ora questo vantaggio è stato “sfruttato” semplicemente stimando la curva media del campione, ma in maniera più completa si procede assegnando al campione legge di distribuzione di probabilità adatta e quindi correlando le curve di durata al concetto di tempo di ritorno. Si rimanda al paragrafo seguente per queste elaborazioni.

4.2.4. Elaborazione statistica delle curve annue di durata delle portate del torrente Slizza chiuso Thörl.

Il campione statistico in esame è un insieme di curve per cui la sua elaborazione si svolge elaborando i campioni composti dai punti omologhi delle varie curve; quindi nel caso specifico si dovranno analizzare 365 campioni, relativi a ciascun punto della curva, di 36 elementi ciascuno.

Come qualsiasi campione statistico, la prima operazione consiste nel calcolo dei momenti statistici; che, limitandosi al secondo ordine, coincidono con la media e la varianza del campione di cui sono ben note le definizioni e le relazioni di stima.

Si ricorda che la stima della media è già stata svolta nel precedente paragrafo (Fig.4-29) mentre la varianza viene presto stimata a partire dai dati campionari; si riassumono graficamente i risultati in figura seguente (Fig.4-32).

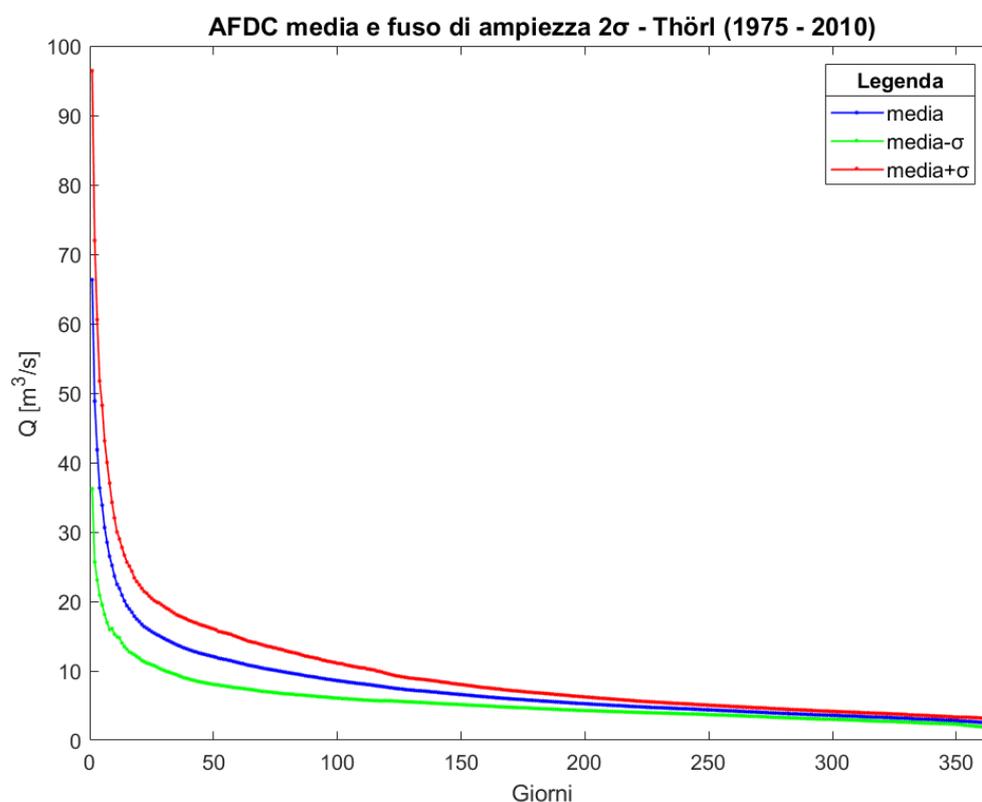


Fig.4-32: Curve annue di durata delle portate media e media incrementata di \pm lo scarto quadratico a Thörl (1975 – 2010).

Si procede ipotizzando una legge di distribuzione di probabilità per il campione, da verificare successivamente controllando il suo buon adattamento; nel caso in esame, considerando il fatto che non tutti i campioni sono relativi ad eventi estremi, tra le distribuzioni maggiormente utilizzate in idrologia si è deciso di adottare quella normale di Gauss.

Di seguito si riporta l’espressione analitica della funzione di densità di probabilità che graficamente si traduce nel caratteristico andamento a campana della distribuzione:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}$$

Che solitamente viene espressa in funzione della variabile standardizzata, ossia a media nulla e varianza unitaria, z come segue:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad \text{con} \quad z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Si ricordano brevemente solo due caratteristiche di questa distribuzione:

- è una distribuzione a due parametri (μ e σ) che quindi viene univocamente identificata una volta stimati; la figura precedente dimostra come questa operazione sia già stata svolta e come quindi le gaussiane relative a ciascun punto della curva di durata sono note;
- l'integrale della distribuzione, che esprime la probabilità cumulata di non superamento, non è risolubile in forma chiusa ma se ne conoscono solo soluzioni approssimate o puntuali sovente riportate in tabelle. Si precisa che nel presente lavoro è stata utilizzata le funzioni *normcdf* e *norminv* di *Matlab* che computano direttamente e inversamente l'integrale considerando una distribuzione approssimata della normale.

A questo punto si deve verificare l'ipotesi iniziale controllando la bontà dell'adattamento della distribuzione assunta; questo dipende dall'entità e dalla sistematicità o meno degli scarti in termini di frequenza tra i dati sperimentali e la distribuzione teorica.

Tale valutazione può essere fatta:

- in maniera soggettiva sulle carte probabilistiche ovvero diagrammi che consentono graficamente di valutare l'adattamento della distribuzione teorica, avente andamento rettilineo sulla carta, al campione che sarà invece una nuvola di punti.
Nel caso specifico della distribuzione di normale la carta si costruisce riportando nel piano i punti (x, z) ;
- in maniera oggettiva attraverso l'esecuzione dei test statistici non parametrici come ad esempio quello del chi-quadro.

Ovviamente tale verifica va svolta per ognuna delle 365 distribuzioni adottate; nel caso in esame i 365 cartogrammi ed i 365 test sono stati eseguiti in *Matlab* attraverso il codice riportato in allegato (Appendice E) dove si precisa che il test del chi-quadro è stato svolto assumendo 6 classi equiprobabili ed un livello di affidabilità α pari a 0.05.

Si riassumono i risultati più significativi ossia quelli dei test non parametrici, in figura seguente (Fig.4-33).

Come si nota dalla figura solo due distribuzioni, quelle relative alle Q_{292} e Q_{293} , non soddisfano di poco il test del chi-quadro che altrimenti, in tutti gli altri casi è abbondantemente verificato per cui, osservando che questi sono dei valori che non verranno comunque utilizzati nel seguito, si decide di ritenere valida l'ipotesi di distribuzione di probabilità Gaussiana.

Questa scelta è ulteriormente giustificata dal fatto che (come visto in figura Fig.4-29), come nella distribuzione simmetrica di gauss, i valori medi e mediani sono essenzialmente coincidenti.

Per quanto riguarda le carte probabilistiche, il loro risultato è ovviamente di minor valore rispetto al test statistico e quindi, non essendo fondamentali per la tesi, si decide di non riportarle tutte ma a titolo indicativo si mostrano solo quelle relative alle grandezze Q_{292} e della Q_{347} che rispettivamente non soddisfano e soddisfano il test statistico (Fig.4-34).

Come si nota dalla figura, ovviamente è buono l'allineamento dei punti sperimentali della Q_{347} , mentre, pur non soddisfacendo il test statistico, anche nella carta del campione delle Q_{292} si nota comunque un buon adattamento fatta eccezione per i valori più estremi; questo motiva il fatto che il test risultava di poco non soddisfatto.

A questo punto, verificata l'ipotesi sulla distribuzione di probabilità, sfruttando la conoscenza di quest'ultime leggi, è possibile costruire le curve di durata delle portate per i vari tempi di ritorno ricavando, per il fissato tempo di ritorno, il valore di ciascuna portata Q_i della curva.

Nel caso in esame si decide adottare i seguenti tempi di ritorno: 5 anni, 10 anni, 30 anni, 50 anni, 100 anni e 200 anni.

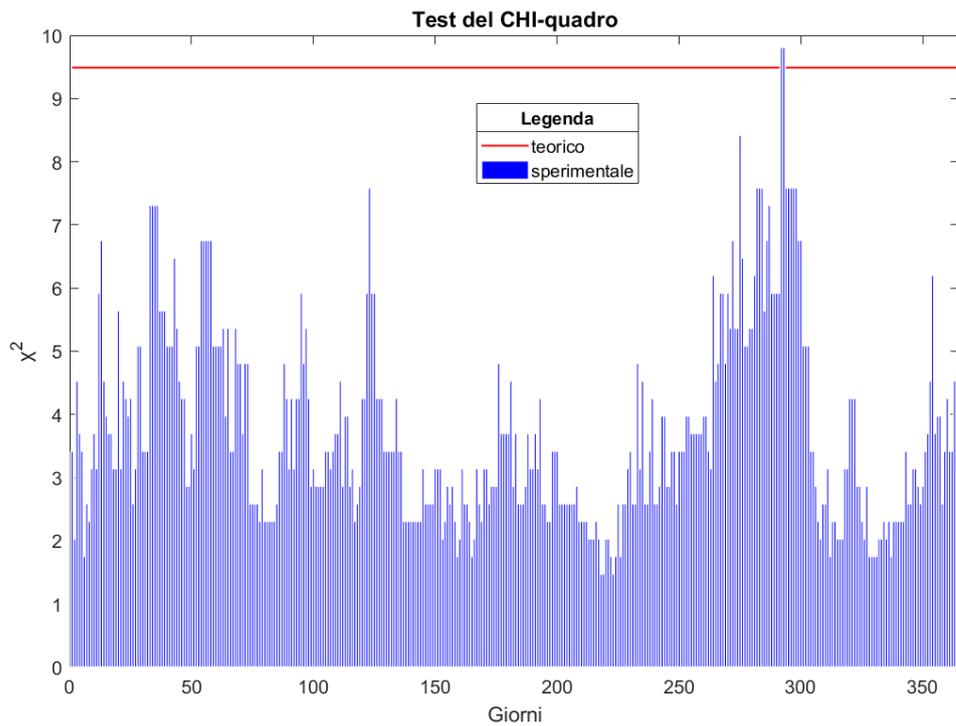


Fig.4-33: Risultati dei test del chi-quadro sui campioni di portata - Thörl (1975 – 2010).

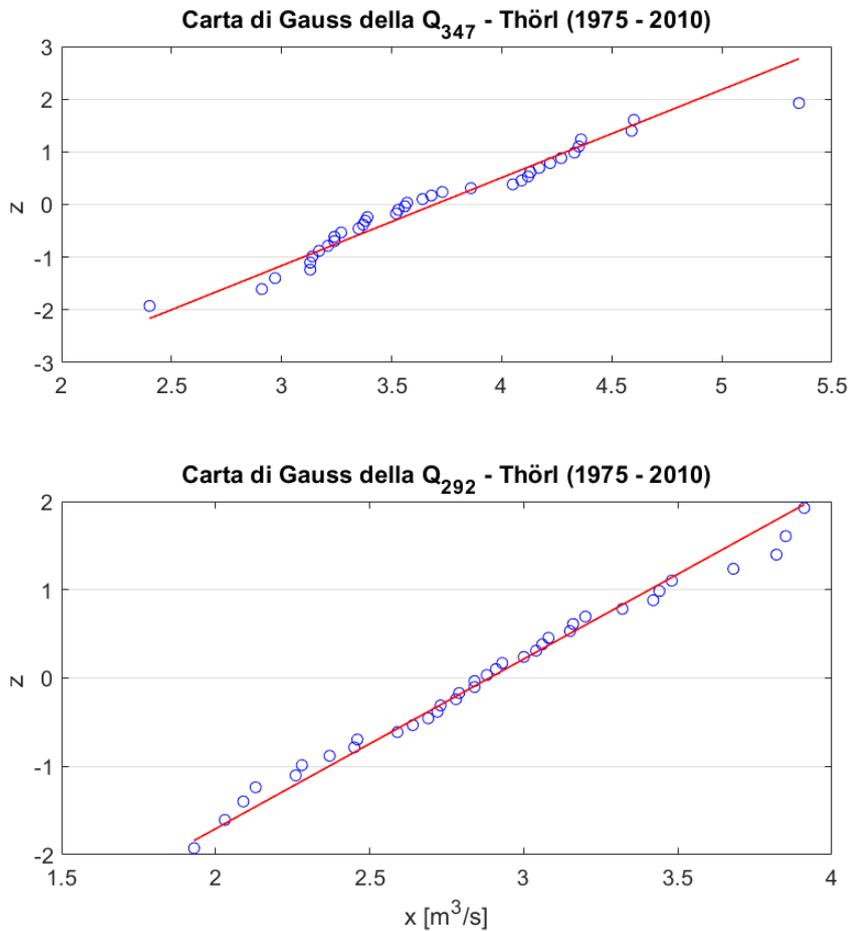


Fig.4-34: Carta probabilistica x - z di Gauss per le variabili Q_{292} e Q_{347} - Thörl (1975 – 2010).

Anche questa procedura è stata svolta in *Matlab* con lo stesso codice citato in precedenza e nei commenti del quale si trova anche la descrizione dei passaggi svolti che non sono riportati nel testo non essendo fondamentali e per renderne più scorrevole la lettura.

Si riassumono quindi in figura seguente (Fig.4-35) le curve di durata ottenute e per una migliore comprensione delle quali si riporta anche in tabella i valori delle portate notevoli media, massima, minima e 347 (Tab.4.2.4-I)

Tab.4.2.4-I: Valori notevoli di portata delle curve di durata per i vari T_r - Thörl (1975 – 2010).

T_r [anni]	5	10	30	50	100	200
Q_I [m ³ /s]	93.95	107.19	123.82	130.43	138.64	146.15
Q_{365} [m ³ /s]	2.94	3.23	3.58	3.72	3.89	4.05
Q_m [m ³ /s]	9.46	10.39	11.55	12.02	12.59	13.12
Q_{347} [m ³ /s]	3.33	3.55	3.84	3.96	4.10	4.23

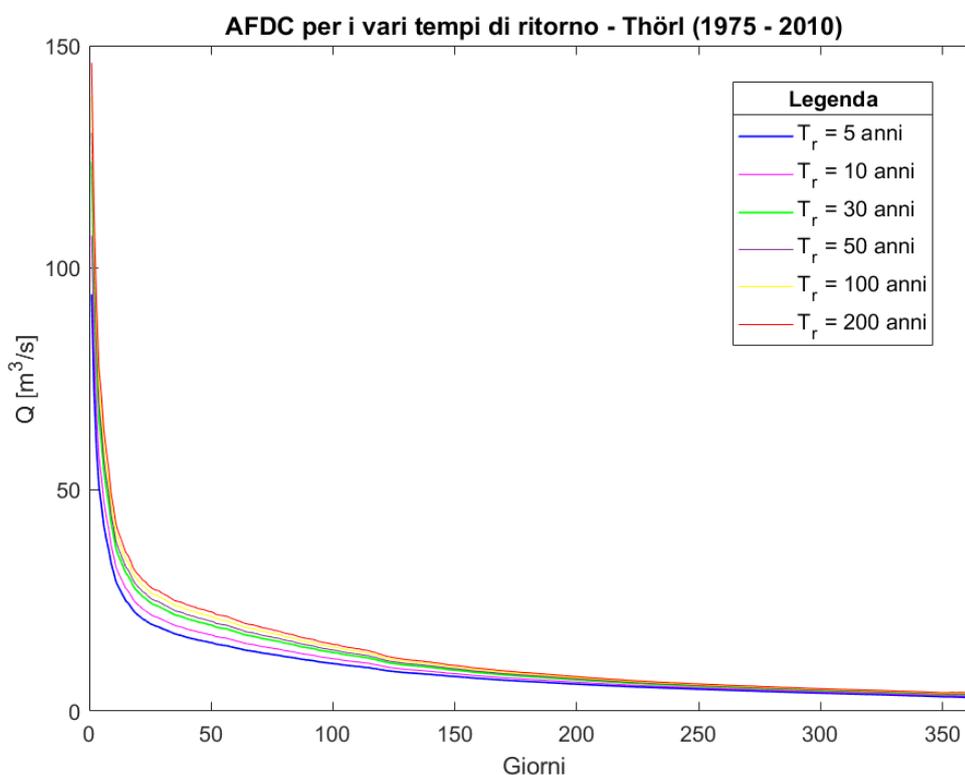


Fig.4-35: Curve annue di durata per i vari tempi di ritorno- Thörl (1975 – 2010).

Confrontando figura e tabella con i corrispettivi visti nei precedenti paragrafi (si vedano Fig.4-22, Fig.4-23, Fig.4-24, Fig.4-29 e Tab.4.2.3-I) si nota che:

- la variabilità dei valori col tempo di ritorno decresce con la durata della portata, cosa che ci si aspettava ricordando che questo era anche l'andamento del fuso di variabilità del fuso delle AFDC;
- I valori della portata massima indicano che nel periodo di osservazione (1975 – 2010) non si riscontrano eventi, ossia portate medie giornaliere, con tempi di ritorno superiori ai 50 anni essendo la massima registrata di 128 m³/s;

- i valori di portata Q_{365} e di Q_{347} indicano che nel periodo di osservazione (1975 – 2010) si sono ottenuti valori ben al di sotto di quelli riportati in tabella, essendo i loro minimi rispettivamente di $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$ e di $1.98 \text{ m}^3/\text{s}$; questo perché il concetto di tempo di ritorno è legato alla probabilità di superamento di un dato evento e quindi i valori in tabella diventano utili per non commettere sovrastime di quelle grandezze sapendo mediamente con che intervallo vengono uguagliate o superate.
Invece, per quanto riguarda la probabilità di non superamento, ricordando che è data dal reciproco del suo tempo di ritorno, è possibile affermare che sicuramente a quei valori minimi cronologici ne corrisponde una inferiore al 20 % (reciproco di 5 anni);

L'ultima osservazione sembrerebbe sminuire la valenza dell'analisi statistica svolta ma in realtà questa è comunque necessaria in quanto, per conoscere con esattezza le probabilità di non superamento di un evento a partire dalle distribuzioni di probabilità, è sufficiente invertire la procedura fatta e ricavare i tempi di ritorno e quindi la probabilità di non superamento legati alle varie portate di qualunque delle AFDC.

Sebbene questo calcolo non sia richiesto da nessuna normativa il calcolo del tempo di ritorno è sempre utile per giustificare la scelta di un certo valore di calcolo assunto e quindi verrà in seguito utilizzato. Ad esempio, solo per illustrare la procedura, il tempo di ritorno del valor medio di Q_{347} desunto dalla curva media di durata che andrebbe assunto per il calcolo del DMV secondo il metodo Svizzero nella sezione di Thörl sarà:

$$x = 2.89 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow z = \frac{(x - m_{347})}{s_{347}} = 0.0048 \rightarrow P(z) = 0.5 \rightarrow T_r = \frac{1}{1 - P} = 2 \text{ anni}$$

4.3. Elaborazione dei dati di idrometrici e di portata della stazione di Tarvisio, Campo sportivo.

4.3.1. Descrizione delle stazioni di misura.

Anche per quanto riguarda l'idrometria, vale quanto già accennato nel primo paragrafo di questo capitolo per la pluviometria; ossia che la rete di monitoraggio a cui si fa riferimento è quella gestita dall'ufficio Idrografico della regione Friuli Venezia Giulia (Fig.4-36).

Come fatto per la pluviometria si riassume in tabella la storia delle varie stazioni di misura (Tab.4.3.1-I); da questa si nota come attualmente siano funzionanti solo i due idrometri di *Tarvisio, Campo sportivo* e di *Cave del Predil, Ponte miniera* rispettivamente sul Torrente Slizza pochi metri dopo la sua confluenza col Canale Bartolo e sul Rio del Lago a circa 1.5 km a valle del lago stesso e dei quali nessuno dei due è precedente al 2000.

Tra le stazioni funzionanti vengono eseguite misure di portata solo su quella di Tarvisio che tuttavia, come si vedrà in seguito, a causa dell'ordine dell'asta, vengono svolte solo in periodo di magra.

Si precisa che altre misure di portata vennero svolte sul Rio Bianco e sul Rio del Lago di Fusine per un breve periodo tra il 1953 ed il 1956 presso le stazioni oggi inattive di Villabassa e sempre sul Rio del Lago immediatamente a valle dello sbarramento sul Lago inferiore di Fusine.

In questo quadro risulta evidente il grande contributo viene fornito dalla stazione di Thörl gestita dall'Ufficio Idrografico della Carinzia.

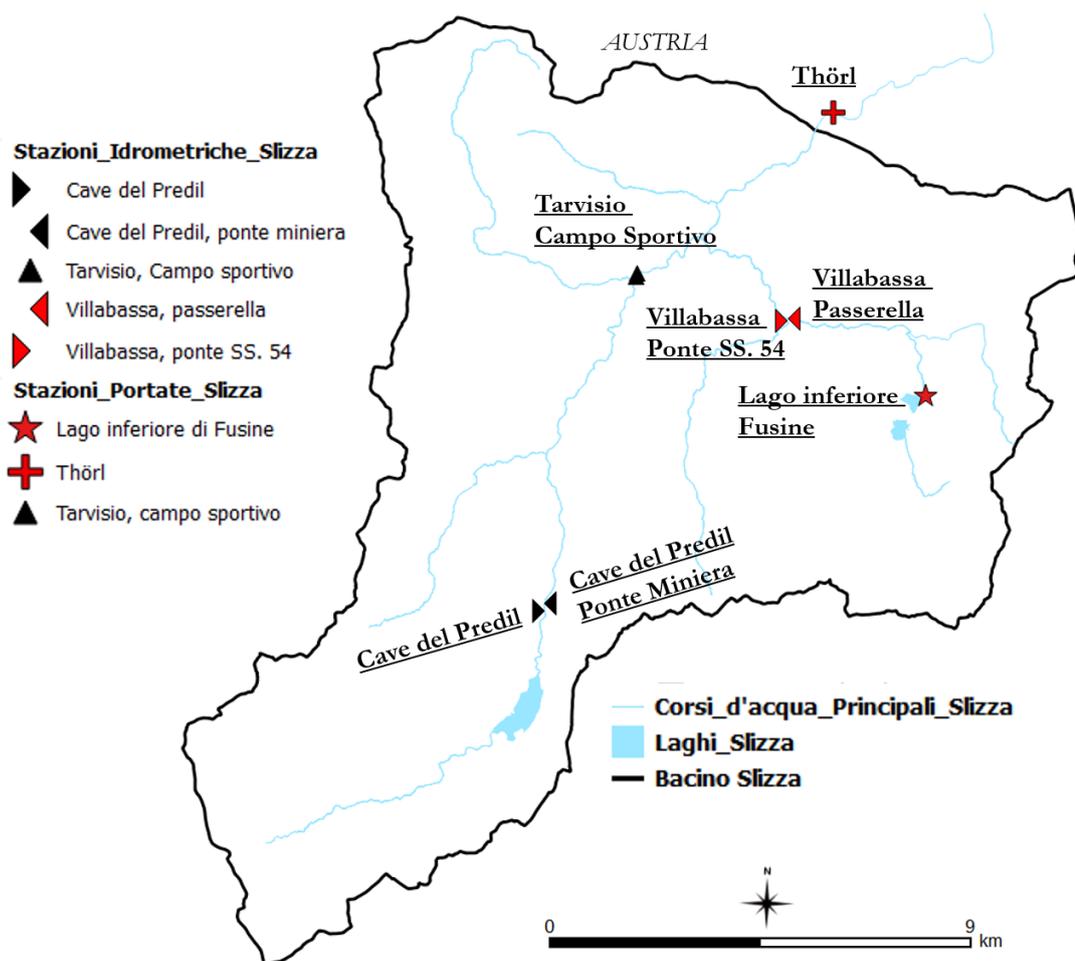


Fig.4-36: Ubicazione delle stazioni di misura idrometriche e di portate nel bacino idrografico dello Slizza.

Tab.4.3.1-I: Informazioni relative alle stazioni idrometriche e di portata presenti nel bacino idrografico del torrente Slizza.

<i>E*</i> [m]	<i>N*</i> [m]	Denominazione	Asta	Zero [m s.l.m]	Data inizio	Data fine	Portate	Attiva
39015 8	514404 3	<i>Cave del Predil, ponte miniera</i>	R. del Lago (Predil)	-	23/01/0 8	-	No	Si
39210 3	515107 1	<i>Tarvisio, Campo Sportivo</i>	T. Slizza	692.073	30/11/0 0	-	Si	Si
39015 6	514387 7	<i>Cave del Predil</i>	R. del Lago (Predil)	-	29/11/0 0	15/06/0 6	No	No
39534 8	515017 4	<i>Villabassa, passerella</i>	R. del Lago (Fusine)	754	01/01/5 2	31/12/5 2	No**	No
39533 1	515011 9	<i>Villabassa, ponte SS. 54</i>	R. Bianco	754	01/01/5 2	31/12/5 2	No**	No
*Coordinate cartografiche UTM-33								
**Alcune campagne di misura delle portate sono state svolte dall'Ufficio Idrografico tra gli anni 1953 e 1956								

4.3.2. Determinazione della scala delle portate dello Slizza chiuso a Tarvisio

Come appena visto nel precedente paragrafo l'unica stazione idrometrica attualmente funzionante nel bacino idrografico del torrente Slizza è quella di Tarvisio nella quale il rilievo viene svolto mediante un idrometro ad ultrasuoni posizionato sul ponte che collega la SS.54 alla SS.13 attraversando il torrente (Fig.4-37) e le cui misure, sono trasmesse in tempo reale al centro operativo della Protezione Civile.

Sempre dal paragrafo precedente è noto come, subito valle del ponte si trovi anche la sezione sulla quale vengono eseguite misure dirette di portata dall'Ufficio Idrografico Regionale; la copresenza di misure di livello e portata permette quindi di costruire la scala delle portate di una data sezione.

Si ricorda che tale curva esprime l'andamento delle portate in funzione del tirante del corso d'acqua in una data sezione e che essa è generalmente descritta da un'equazione monomia del tipo:

$$Q = \alpha y^\beta$$

Dove:

- α e β sono i parametri da stimare della curva;
- y è il tirante;

La scala delle portate nacque proprio come strumento per consentire di conoscere la portata evitandone la misura diretta ma sfruttando la conoscenza dei livelli idrometrici.

Questo perché il campione dei livelli idrometrici è generalmente consistente essendone il rilievo più economico, semplice, sistematico, continuo e privo di pericoli qualora eseguito in maniera autonoma da sezioni strumentate; invece l'opposto si può dire per il rilievo delle portate che è costoso, complesso, pericolo per il rilevatore e/o lo strumento e pertanto discontinuo.

Si ricorda inoltre che, ove possibile, la scala delle portate dovrebbe essere aggiornata ogniqualvolta la sezione subisce delle modifiche ad esempio a seguito di piene o comunque di anno in anno come prevedevano negli annali idrologici; per quanto detto nel capitolo 1 dell'elaborato questo sarebbe auspicabile anche per il torrente Slizza viste le sue caratteristiche idrauliche e soprattutto la sua capacità di trasporto che rendono il fondo estremamente mobile.

Purtroppo anche per la sezione suddetta il campione di misure risulta essere fortemente discontinuo avendo 10 dati distribuiti in 5 anni e le misure sono concentrate nei periodi di magra (il massimo valore misurato è di 15.7 m³/s) del corso s'acqua non essendo note misure di velocità con galleggiante zavorrato svolte durante le piene.

Si riporta in tabella seguente (Tab.4.3.2-I) il campione di coppie (y, Q) a disposizione:

Tab.4.3.2-I: Misure di portata del torrente Slizza svolte sulla sezione di Tarvisio

Stazione	Data Misura	y [m]	Q [m ³ /s]
Tarvisio, campo sportivo	13/06/2005 00.00.00	0.71	2.5
Tarvisio, campo sportivo	18/07/2006 00.00.00	0.64	2.1
Tarvisio, campo sportivo	17/03/2008 00.00.00	0.68	3.14
Tarvisio, campo sportivo	14/04/2008 00.00.00	0.74	5.24
Tarvisio, campo sportivo	30/07/2008 00.00.00	0.68	3.36
Tarvisio, campo sportivo	09/02/2009 00.00.00	0.78	5.54
Tarvisio, campo sportivo	25/05/2009 00.00.00	0.97	15.7
Tarvisio, campo sportivo	08/09/2009 00.00.00	0.87	7.9
Tarvisio, campo sportivo	18/02/2010 00.00.00	0.64	1.94
Tarvisio, campo sportivo	01/07/2010 00.00.00	0.73	3.9



Fig.4-37: Idrometro ad ultrasuoni sul torrente Slizza della stazione di meteorologica di Tarvisio – Campo sportivo.

Assumendo per la curva un andamento a potenza monomia, interpolando ai minimi quadrati i punti campionari essa risulta avere l'andamento riportato in figura (Fig.4-38) e quindi la seguente equazione:

$$Q = 17.24 \cdot y^{4.6862}$$

Sulla curva ottenuta è necessario fare le seguenti precisazioni:

- la curva ha un buon coefficiente di determinazione (0.94) che tuttavia, visto la scarsa ampiezza del dominio di portate-tiranti dei dati campionari, indica che tale legge è specifica esclusivamente per valori contenuti in quegli intervalli mentre è inaffidabile per valori esterni. In particolare, definito l'intervallo di tirante dei dati campionari, mentre si è abbastanza certi dell'andamento della curva per tiranti inferiori, si vedrà successivamente che, prolungando la curva verso tiranti maggiori questa subisce una forte e poco realistica impennata dei valori di portata matematicamente dovuta dall'elevato valore del coefficiente β . Tutto ciò è diretta conseguenza del fatto che l'algoritmo interpolatore si concentra solamente su un ristretto campo di dati campionari;
- la curva è stata determinata a partire da dati presi in anni differenti nei quali la sezione, viste le caratteristiche del torrente, avrà sicuramente subito delle modifiche e pertanto è lecito aspettarsi errori nel suo utilizzo.
Tuttavia si precisa anche che, sebbene non corretto dal punto di vista formale, questa è l'unica elaborazione possibile con i dati a disposizione e comunque consente rispetto al nulla un piccolo incremento informativo;

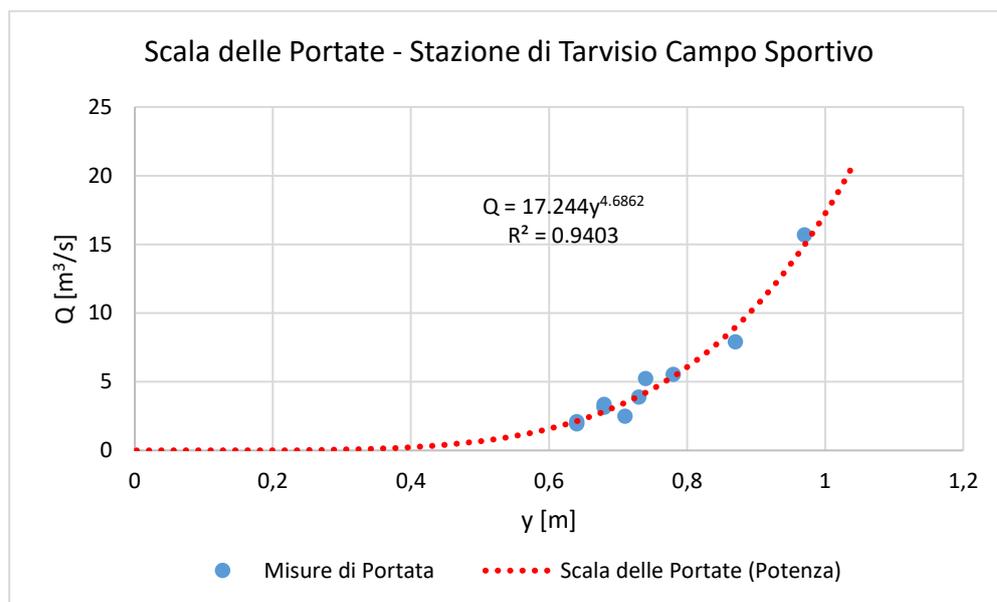


Fig.4-38: Scala delle portate del torrente Slizza chiuso sulla sezione di misura Tarvisio, Campo Sportivo.

Si possono ottenere delle informazioni confrontando la curva appena ottenuta con quella relativa alla stazione di Thörl; quest'ultima può essere ricavata in quanto il servizio idrografico della Carinzia fornisce liberamente, attraverso il webGIS Austriaco *eHYD - der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs* (: <http://ehyd.gv.at/>), i dati di portata media giornaliera, massima e minima mensili e quelli idrometrici di media giornaliera, massima e minima mensile relativi alla stazione in tutto il suo periodo di funzionamento.

Le due sezioni ovviamente presentano delle differenze legate alla geometria ed alle caratteristiche dei bacini sottesi; inoltre bisogna anche considerare che, pur non essendo troppo distanti tra le due, la sezione del Campo sportivo precede le immissioni del Rio del Lago di Fusine e del Canale dei Carri; tuttavia questa è anche l'unica possibilità per avere un confronto tra curve di questo tipo.

Per quanto detto in precedenza, al fine di ricavare la scala delle portate, è necessario che le coppie (y , Q) siano riferite a valori misure contemporanee di tirante e portata; per questo motivo la determinazione può essere svolta solamente utilizzando i valori massimi e minimi mensili, dopo aver controllato che fossero contemporanei sia per le portate che per i tiranti, mentre non è ovviamente corretto e sensato utilizzare i valori medi giornalieri.

Come appena detto si utilizzano i valori massimi per cui a Thörl si aspetta una curva con dominio molto più ampio rispetto a quella di Tarvisio.

Ovviamente, al contrario di quanto visto a Tarvisio, la stazione di Thörl consente di ricavare per ogni anno la curva di durata; tuttavia, al fine di eseguire un confronto con la curva precedente, si decide di ricavare quella relativa ai dati del 2008 e del 2009 in quanto in tali anni si concentrano la maggioranza delle misure svolte sulla sezione di Tarvisio.

Assumendo la stessa funzione e lo stesso algoritmo interpolatore si ottiene la seguente curva di durata (Fig.4-39) avente la seguente equazione:

$$Q = 3.143 \cdot y^{4.7192}$$

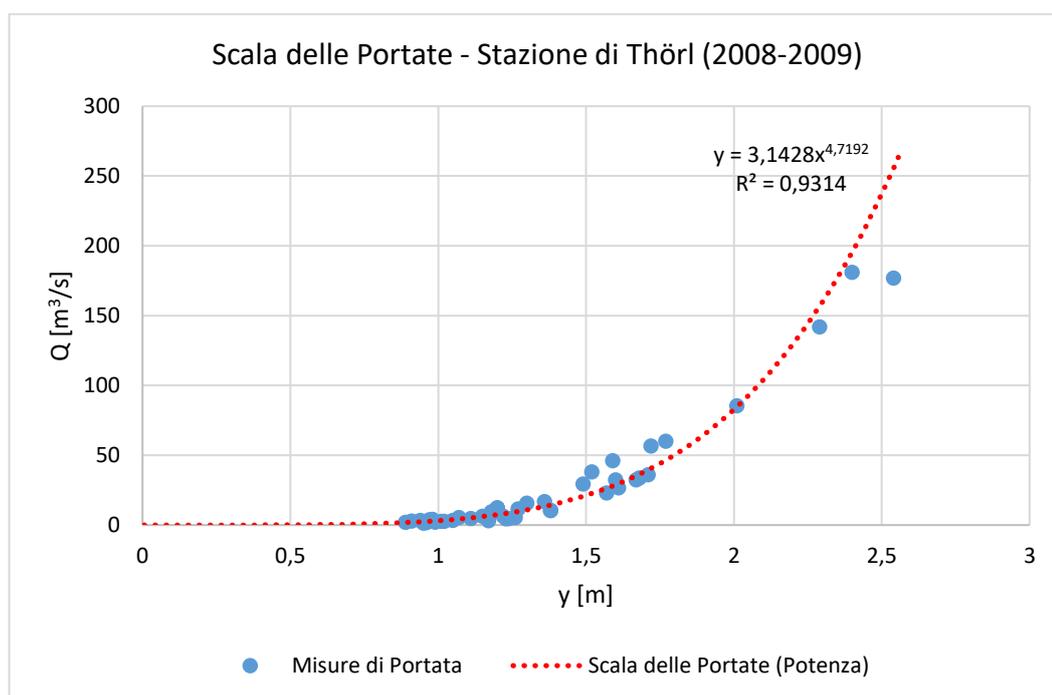


Fig.4-39: Scala delle portate del torrente Slizza chiuso sulla sezione di misura Thörl e determinata a partire dai dati relativi agli anni 2008-2009.

Dal confronto tra le due curve si nota subito che:

- i valori dell'esponente β sono simili, cosa che già evidenzia una similitudine, mentre valori di α estremamente diversi tali da far sì che le due curve abbiano gradienti di crescita molto diversi ed in particolare molto più alto a Tarvisio. Questo comportamento è coerente con quanto detto in precedenza riguardo la mancanza di misure di piena a Tarvisio che, come si nota nella curva di Thörl, vanno a ridurre il gradiente di crescita della curva.
Tenendo anche conto di quanto appena detto e del fatto che normalmente a Thörl si dovrebbero registrare portate superiori rispetto a Tarvisio per utilizzare prima scala di deflusso sarebbe senz'altro corretto ridurre il valore di α almeno fino a farla sottostare alla scala di deflusso di Thörl;
- Sebbene il campione relativo a Thörl conti un gran numero di dati in più rispetto a Tarvisio e soprattutto tali da definire un dominio di indagine non solo limitato alle sole condizioni di magra dove comunque si concentrano la grande maggioranza dei dati, tuttavia i coefficienti di determinazione sono comunque molto simili. Questo è probabilmente dovuto al fatto che in ambedue le curve si utilizzano dati distribuiti su periodi temporali superiori all'anno;

In conclusione il confronto tra le due scale delle portate, considerando tutti i limiti già evidenziati dall'analisi svolta ma anche che esse sono comunque riferite a due sezioni distanti circa 5.5 km di una stessa asta fluviale, ha evidenziato che è possibile individuare un certo legame tra le due in quanto tutte le differenze hanno trovato logiche giustificazioni; questo suggerisce anzitutto di consultare i risultati di Thörl anche quando si usa la scala di Tarvisio al fine di evitare errori grossolani e quindi di renderne più sicuro l'utilizzo a fronte della precarietà dei dati.

Quanto appena detto, ossia l'idea di sfruttare l'ingente quantità di misure disponibili in una sezione che risulta in qualche modo avere un legame con un'altra in cui queste sono esigue o non disponibili, coincide esattamente con l'idea alla base dei criteri di similitudine idrologica che infatti sarà lo strumento principale con cui si opererà nei successivi capitoli.

Nel paragrafo seguente si approfondisce il tema appena sollevato cercando di motivare l'applicabilità al caso dei criteri di similitudine idrologica.

4.3.3. Similitudine idrologica tra i bacini di chiusi sulle sezioni di misura di Thörl e di Tarvisio Campo Sportivo.

Si ricorda brevemente che in generale, qualora un progetto richieda la conoscenza dell'andamento delle portate nel tempo, sia esso un idrogramma di piena o semplicemente una serie cronologica al fine di determinare le curve di durata, le procedure utilizzabili sono sostanzialmente due:

- Metodi diretti: si elaborano statisticamente le misure di portata disponibili. Ovviamente tale procedura è attuabile esclusivamente in sezioni strumentate o nelle quali sono state svolte specifiche campagne di misura o comunque che sorgano nelle immediate vicinanze di una di esse;
- Metodi indiretti: si utilizzano nelle sezioni in cui non sono disponibili, o se disponibili comunque non sono statisticamente significative, misure di portata.

Questi metodi sono molto numerosi e operano in molteplici maniere; tra i principali si elencano:

- metodi che determinano le portate a partire dall'analisi statistica delle precipitazioni (metodi Afflussi-Deflussi);
- formule empiriche dedotte dalle osservazioni di precipitazione o idrometriche;
- metodi che determinano le portate in una sezione a partire da quelli noti in su altre sezioni che sottendono un bacino idrologicamente simile (metodi della similitudine idrologica)

Nel presente capitolo è stato già stato applicato il metodo diretto nel caso della sezione di Thörl tuttavia l'obiettivo sarà poi quello di determinare il Deflusso Minimo Vitale in diverse sezioni del bacino in cui non sono disponibili dati di portata.

In tutti questi casi si dovrà inevitabilmente ricorrere ai metodi indiretti, ed in questo caso la procedura più logica sarà quella di costruire le curve di durata delle portate nelle varie sezioni a partire da dati di portata ottenuti trasportando per similitudine idrologica le consistenti misure di Thörl.

Il tema della similitudine idrologica è ovviamente un concetto non deterministico ma molto vasto e complesso in quanto per dire che due bacini siano idrologicamente simili bisognerebbe a rigore considerare un gran numero di variabili ed aspetti spesso ridotti alla sola vicinanza geografica dei bacini che è comunque un requisito fondamentale; in ogni caso, essendo indubbiamente uno strumento molto comodo, deve essere sempre eseguito con cautela (*CREST – Centro di Ricerche in Ecologia e Scienza del Territorio, 2012*).

Tuttavia è importate far notare che nei precedenti paragrafi e capitoli sono state collezionate una serie di informazioni che possono in qualche modo giustificare la scelta del metodo:

- nel primo capitolo dell'elaborato si è visto che, l'estensione del bacino non è molto elevata e quindi, qualora ci si basasse semplicemente su criteri geografici, risulta facilmente rispettata la similitudine idrologica tra i bacini che verranno analizzati. Inoltre gran parte di questo territorio è non antropizzato e quindi conserva una naturale omogeneità delle caratteristiche idrologiche.
Questo concetto è ancora più valido per le aste aventi stesso ordine in quanto evita eccessive differenze di quote/pendenza.
Le principali disomogeneità possono trovarsi nelle porzioni urbanizzate o in cui sono presenti regimi sotterranei particolari;
- il metodo verrebbe utilizzato esclusivamente in sezioni ricadenti nelle aste principali del bacino del torrente Slizza il che non porterà a differenze troppo eccessive di dimensione dei bacini sottesi. Cosa che rafforza l'utilizzo dei criteri geografici citati al primo punto;

- dal punto di vista pluviometrico, i primi paragrafi del presente capitolo hanno evidenziato, oltre alla mancanza completa di trend, che permette di utilizzare senza dubbi l'intero periodo di osservazione della stazione di Thörl, anche una spiccata omogeneità spaziale del regime pluviometrico nella porzione settentrionale del bacino contenente gran parte dello sviluppo del torrente Slizza e che può essere sicuramente estesa sino alla sezione di Thörl. La porzione meridionale del bacino, in cui scorre il rio del Lago di Raibl, è invece maggiormente piovosa ma è ugualmente compresa in tutti i bacini sottesi da sezioni dello Slizza;
- durante il sopralluogo svolto in sito, svolto al termine di un periodo secco, si è notata la permanente ed intensa presenza di deflussi nella zona dei laghi di Fusine garantita non dalle precipitazioni ma dall'elevato deflusso sotterraneo che emerge come sorgenti;
- come appena accennato comportamento stazionario delle precipitazioni nel bacino può essere esteso anche alla sua porzione Austriaca, sia per la sua modesta estensione, sia perché lo stesso comportamento è stato confermato dall'analisi delle serie di portate Thörl svolte nel paragrafo 4.2.1;
- in un certo senso una prima ricerca sulla similitudine è stata fatta col confronto tra le scale di deflusso svolto nel precedente paragrafo che ha evidenziato come, nei limiti del possibile viste le inevitabili differenze di geometria e deflusso, vi sia una certa similitudine tra le sezioni in quanto i coefficienti α sono simili mentre le differenze di β sono principalmente dovute al dominio campionario.

Nel presente paragrafo si vuole quindi verificare l'applicabilità della similitudine idrologica sui dati di Thörl applicandola sul bacino sotteso dalla sezione Tarvisio, Campo Sportivo, unica per la quale sono disponibili alcune misure di portata con cui svolgere un confronto.

Ovviamente, come visto nel paragrafo precedente e dato che si è dovuto ricorrere alla similitudine idrologica, le misure a disposizione nella stazione di Tarvisio non sono tali da permettere un confronto tra due curve di durata di cui una trasportata per similitudine ed una costruita con le misure, che quindi sarà eseguito sui valori puntuali di portata misurati e trasportati.

Come già detto in precedenza esistono vari metodi indiretti che si basano su diversi criteri di similitudine idrologica ossia criteri che correlano le portate delle due sezioni se queste sottendono bacini idrologicamente simili ossia omogenei per caratteristiche morfometriche, climatiche, idrografiche, geomorfologiche e pedologiche.

Come già accennato in precedenza il numero di aspetti da considerare rende complessa la definizione rigorosa di criteri di omogeneità idrologica che spesso si riducono alla sola vicinanza geografica che quindi, essendo ovviamente meno corretto, limita notevolmente la diffusione del metodo (*Brath*, 1995) rispetto alle sue potenzialità.

Tra questi criteri il più semplice ed adatto al caso in esame è quello che si basa sul rapporto delle aree dei bacini sottesi; si parla pertanto di criterio di similitudine idrologica in rapporto alle aree sottese, nel quale si ipotizza che il rapporto tra le portate defluenti sulle due sezioni sia costante e pari ad un valore funzione del rapporto delle aree sottese.

Analiticamente dati due sezioni di cui una strumentata ed una non strumentata (*), il "trasporto" avviene con la seguente relazione:

$$Q^* = Q \cdot \left(\frac{S^*}{S}\right)^\alpha \quad \alpha = 1$$

Dove:

- S e Q sono la superficie del bacino sotteso e la portata sulla sezione strumentata;
- S^* e Q^* sono la superficie del bacino sotteso e la portata sulla sezione non strumentata;
- α è un coefficiente generalmente superiore ad 1 per il quale nella letteratura relativa alla formazione delle onde di piena è consigliato il valore 1.3 e che nel presente elaborato viene sempre assunto unitario.

Nel caso in esame la superficie del bacino sotteso dalla sezione di Thörl è stato misurata dal servizio idrografico della Carinzia ed è pari a 188 km² mentre, per la sezione di Tarvisio Campo Sportivo l'area è stata misurata dopo aver definito il bacino sotteso in *AutoCAD* (Fig.4-40) e risulta pari a circa 102 km².

Ne segue che il rapporto tra le aree è pari a:

$$S_{\text{campo,sportivo}} / S_{\text{Thörl}} = 0.54$$

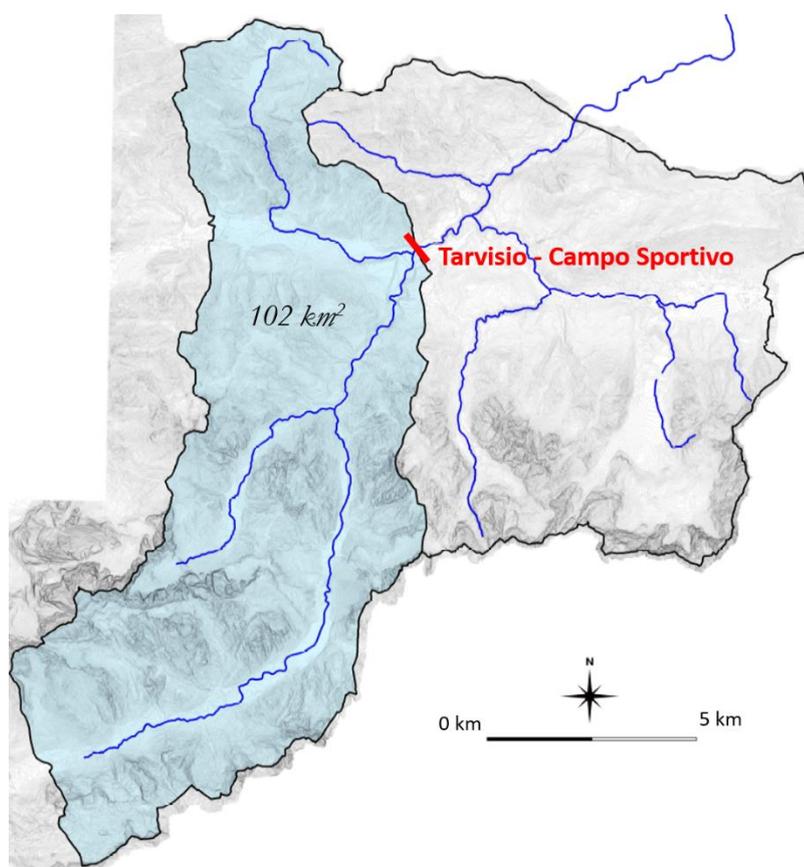


Fig.4-40: Bacino idrografico sotteso dalla sezione di misura di Tarvisio, Campo Sportivo sul torrente Slizza.

Noto il rapporto tra le aree, per svolgere il confronto è necessario conoscere le misure della portata a Thörl contemporanee a quelle di note a Tarvisio riportate in Tab.4.3.2-I; queste sono state estratte dal già citato campione di portate medie giornaliere messo a disposizione dal Servizio Idrografico della Carinzia.

Tali valori di portata saranno quindi trasportati sulla sezione di Tarvisio moltiplicandoli per il rapporto delle aree e confrontati con quelli realmente misurati sulla sezione stessa; si riassumono tutti i valori di portata e le loro differenze Δ in tabella seguente (Tab.4.3.3-I) in cui si precisa che quelli stimati per similitudine saranno indicati col pedice della sezione a cui sono riferiti e con apice *.

Si precisa che ovviamente tutte le considerazioni che verranno fatte in seguito hanno una valenza rapportata alla dimensione ridotta di valori a disposizione.

Tab.4.3.3-I: Portate (misurate e stimate da Thörl per similitudine idrologica) sulla sezione di Tarvisio, Campo sportivo.

Data Misura	$Q_{Tarvisio}$ [m ³ /s]	$Q_{Thörl}$ [m ³ /s]	$Q^*_{Tarvisio}$ [m ³ /s]	Δ [m ³ /s]
13.06.2005 00:00:00	2.5	4.83	2.62	0.12
18.07.2006 00:00:00	2.1	3.66	1.99	-0.11
17.03.2008 00:00:00	3.14	6.12	3.32	0.18
14.04.2008 00:00:00	5.24	5.96	3.23	-2.01
30.07.2008 00:00:00	3.36	5.4	2.93	-0.43
09.02.2009 00:00:00	5.54	11.2	6.08	0.54
25.05.2009 00:00:00	15.7	17.3	9.39	-6.31
08.09.2009 00:00:00	7.9	10.6	5.75	-2.15
18.02.2010 00:00:00	1.94	3.22	1.75	-0.19
01.07.2010 00:00:00	3.9	3.75	2.03	-1.87

Per prima cosa si diagrammano (Fig.4-41) le differenze tra le portate misurate e stimate; da suddetta figura, considerando la natura comunque approssimata del concetto di similitudine idrologica, si nota che generalmente vi è un buon grado di accordo in quanto solo in 4 casi tale differenza supera 1 m³/s e solo in un caso isolato questa assume un'entità significativa di 6.31 m³/s.

In particolare si nota dalla tabella appena riportata che i 4 casi citati sono relativi alle misure in cui la portata assumeva valori più elevati ed inoltre si osserva anche che in tutti i casi la differenza è dovuta ad una sottostima da parte del processo di trasporto rispetto ai dati misurati.

Al contrario per i valori più bassi di portata si verifica che l'utilizzo della similitudine commette errori molto esigui.

Un altro diagramma che consente di evidenziare graficamente le differenze tra le portate stimate e misurate è quello in cui si riportano i punti le coppie ($Q_{Thörl}$, $Q_{Tarvisio}$) e quelle ($Q_{Thörl}$, $Q^*_{Tarvisio}$).

È evidente che per similitudine idrologica le seconde coppie si devono allineare lungo una retta la cui inclinazione è pari al rapporto delle aree mentre le prime possono essere interpolate per ottenere quella che è la reale, relativamente ai dati disponibili, correlazione tra le portate delle due stazioni di misure; si riporta di seguito tale diagramma dove anche per i punti misurati è stata utilizzata una interpolazione di tipo lineare considerata sufficiente in quanto anche utilizzando modelli più complessi non si ottengono significativi incrementi del coefficiente di determinazione (Fig.4-42).

Dalla figura si nota che:

- si ritrova la correlazione lineare tra le portate proporzionale al rapporto tra le aree dei bacini sottesi derivante dall'applicazione della similitudine idrologica;
- la correlazione tra le portate di Thörl e quelle misurate sulla sezione di Tarvisio - Campo sportivo può essere considerata lineare con un coefficiente di determinazione pari a 0.88 non proprio basso considerando la semplicità del modello e la distribuzione temporale delle portate che, essendo distribuite in 5 anni diversi, possono fare riferimento a contesti anche molto diversi per l'avvento di modifiche sulla sezione di Tarvisio o su quella di Thörl;
- a conferma di quanto osservato commentando la figura Fig.4-41 le due rette si intersecano intorno ai 3 m³/s e quindi risultano molto vicine per bassi valori di portata mentre divergono all'aumentare di quest'ultima con una tendenza alla sottostima da parte della retta di similitudine. Tuttavia tale comportamento non è sistematico come evidenzia il punto del 09/09/2009 che, pur essendo riferito ad una portata di 11.2 m³/s ricade nelle vicinanze della retta di regressione, e quindi una sua conferma necessiterebbe di un campione più esteso di valori;

- la retta interpolante i dati sperimentali risulta avere una maggiore pendenza rispetto a quella relativa ai valori stimati attraverso similitudine idrologica alle aree. Questo, oltre a causare l'intersezione tra le rette di cui si è discusso nel punto precedente, fa sì che la retta sperimentale intersechi l'asse delle ascisse prima dell'altra, il che fisicamente indica che per valori nulli della portata a Tarvisio si abbiano a Thörl dei valori positivi anziché nulli come si avrebbe col criterio di similitudine.

Quest'ultima considerazione non è fisicamente assurda se si considera, come detto in precedenza, che chiuso a Thörl il torrente Slizza conta un maggior numero di affluenti rispetto alla sezione chiusa a Tarvisio - Campo Sportivo, tra i quali è importante sottolineare il Rio del Lago di Fusine che, come si è più volte fatto notare, è caratterizzato da una forte e permanente presenza d'acqua a causa delle numerose sorgenti presenti nell'area dei Laghi.

Questo andamento produce anche un valore negativo dell'intersezione con l'asse delle ordinate che rappresenta ovviamente un assurdo fisico e che comunque non si riscontrerà mai avendo verificato che nella sezione di Thörl lo Slizza ha un flusso permanente.

Alla luce di quanto detto, ricordando che le portate di interesse per tale elaborato sono quelle per il calcolo del Deflusso Minimo Vitale, ossia la Q_m e la Q_{347} ; di queste si osserva che i loro valori stimati a Thörl (si veda Tab.4.2.3-I) sono tutt'altro che elevati e ricadono in una fascia in cui i divari tra le due rette di figura Fig.4-40 non evidenziano elevate differenze.

Questo risultato è fondamentale per il presente lavoro poiché, oltre ad aver preso coscienza sulle problematiche legate dell'utilizzo di questo criterio, consente di sfruttare al massimo la consistenza delle misure di portata a Thörl per svolgere analisi altrimenti impossibili in assenza di specifiche campagne di misure e di una affidabile scala di deflusso.

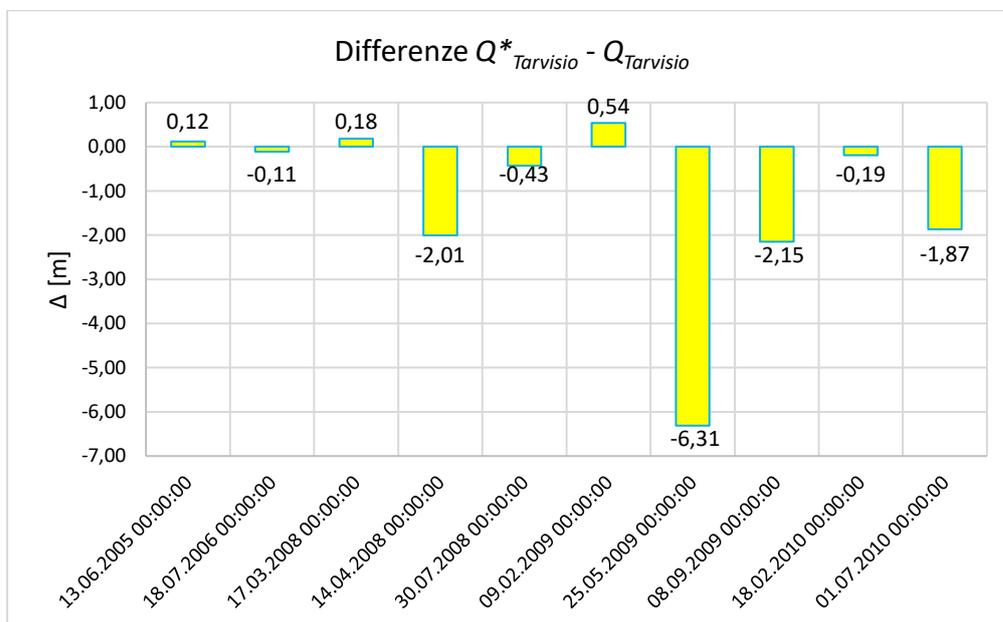


Fig.4-41: Differenze tra le portate sulla sezione di Tarvisio, Campo sportivo stimate da Thörl (per similitudine) idrologica e misurate.

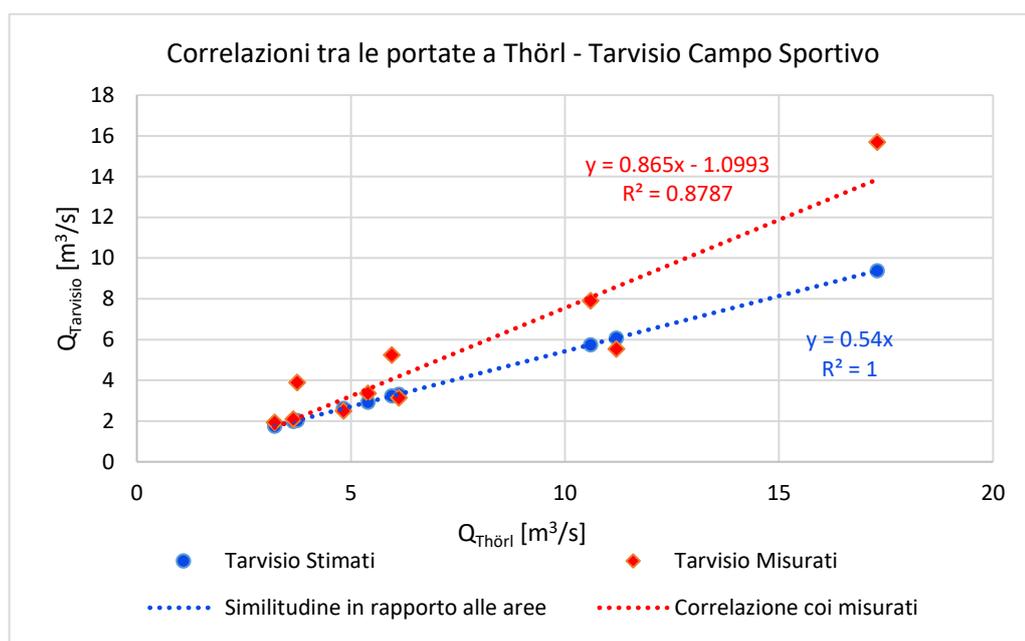


Fig.4-42: Correlazioni tra le portate misurate a Thörl e le portate sulla sezione di Tarvisio, Campo sportivo stimate da Thörl (per similitudine idrologica rapportata alle aree) e misurate.

Un altro test riguardante il criterio di similitudine può essere svolto utilizzandolo per trasportare sulla sezione di Tarvisio – Campo sportivo la scala delle portate relativa alla sezione di idrometrica di Thörl riportata in Fig.4-39; la curva ottenuta viene riportata in figura seguente (Fig.4-43) dove viene confrontata anche con la scala delle portate, riportata in Fig.4-38, che si era ottenuta elaborando le misure dirette svolte nella sezione di Tarvisio – Campo Sportivo.

Ovviamente, per svolgere tale confronto è necessario considerare lo stesso dominio per tutte le curve, il che obbliga a compiere una forte estrapolazione sulla scala di Tarvisio – Campo Sportivo la quale era stata determinata per tiranti sempre inferiori al metro.

Dal confronto risultano confermati tutti i risultati ipotizzati in precedenza, ovvero:

- le differenze scale di portata relative alla sezione di Tarvisio – Campo Sportivo risultano ridotte per tiranti inferiori al metro, per i quali vi erano a disposizione misure dirette di portata. Sostanzialmente si tratta di un'altra, oltre alle precedenti figure Fig.4-42 e Fig.4-41, per dimostrare la buona stima a cui il criterio di similitudine conduce in condizioni di magra;
- le differenze scale di portata relative alla sezione di Tarvisio – Campo Sportivo risultano elevatissime per tiranti superiori al metro a causa dell'andamento evidentemente errato, dato che addirittura sovrasta la relativa alla sezione di Thörl, che si ottiene estrapolando la scala ottenuta dalle misure dirette al di fuori del suo dominio di determinazione. Anche in questo caso quindi si può affermare la maggiore affidabilità nell'uso della similitudine idrologica nella sezione dotata di poche misure di portata.

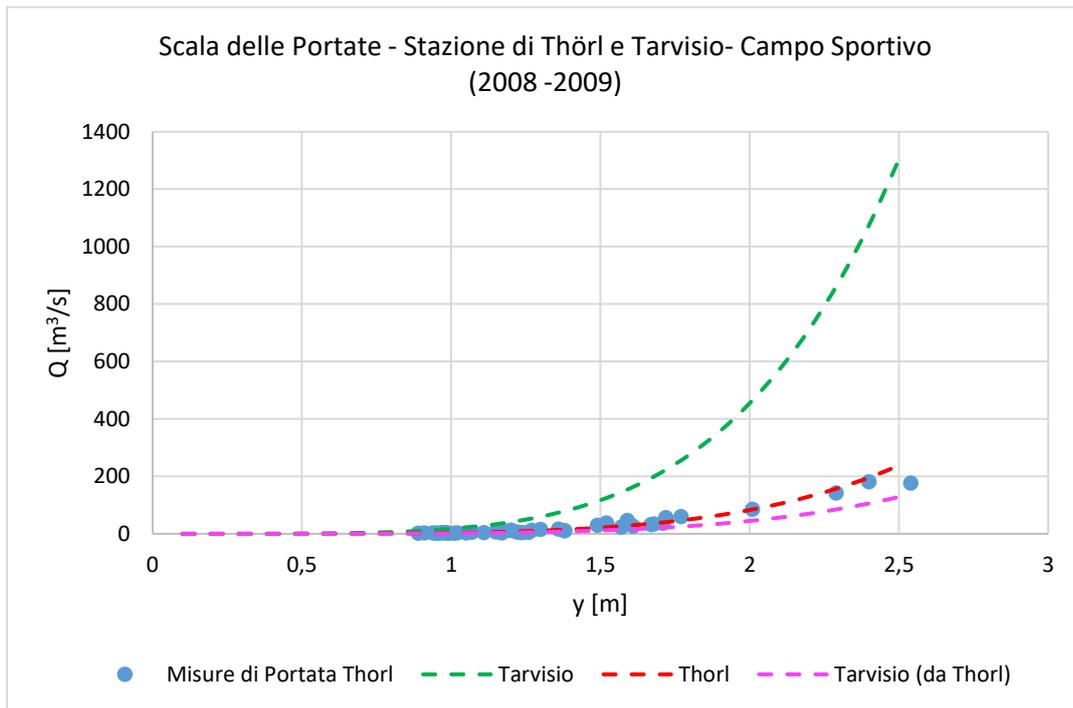


Fig.4-43: Confronto tra le scale di deflusso del torrente Slizza chiuso sulla sezione di misura Thörl e di Tarvisio – Campo sportivo.

Quindi è lecito concludere che l'ipotesi di utilizzo della similitudine idrologica all'interno del bacino del Torrente Slizza per la stima delle curve di durata possa ritenersi accettabile.

Appendice E - Codice in *Matlab* per l'elaborazione statistica delle curve annue di durata delle portate nel torrente Slizza chiuso a Thörl.

```

%Script per l'analisi statistica delle curve annue di durata delle
portate nel torrente Slizza chiuso a Thörl
%*****
%Stima dei parametri della distribuzione gaussiana e costruzione
delle carte di Gauss
[m,n]=size(X); %X campione di 36 curve annue (poste come colonne) 365x636
%esiste una distribuzione gaussiana per ogni durata ossia per ogni riga di X
for i=1:m
    X(i,:)=sort(X(i,:)); %ordina il maniera crescente il campione di
Q in modo da calcolarne la frequenza di non superamento
sperimentale;
    M(i)=mean(X(i,:));%matrice stima del valor medio del campione
    S(i)=std(X(i,:));%matrice stima della dev.st. del campione
    for j=1:n
        F(i,j)=j/(n+1); %matrice frequenza di non superamento
sperimentale
        Z(i,j)=(X(i,j)-M(i))/S(i);% matrice delle variabili
standardizzate teoriche che seguono distribuzione
    end
    Zi(i,:)=norminv(F(i,:));%calcolo delle variabili standardizzate
sperimentali a partire dalle F sperimentali
end
%(X,Z) sarà alla retta di Gauss, (X,Zi) i punti sperimentali
%*****
%Test del CHI-quadro
K=6; %classi equiprobabili
p_k=1/K; %equiprobabilità di classe
alpha=0.05; %livello significatività del test
CHI_teor=9.49; %valore teorico di chi-quadro da tabella in funzione
di (K-1) g.d.l ed 1-alpha
for i=1:m
    f_t=n/k; %numero teorico di elementi in ciascuna classe
equiprobabile=cost (essendo lunghezza di ogni campione costante)
    for k=1:K-1
        P_k(i,k)=k*p_k; %probabilità di non sup. associata ad un elemento
separatore di classe
        Z_k(i,k)=norminv(P_k(i,k)); %variabile standardizzata di un
elemento separatore di classe (da integrale approssimato della
distribuzione norminv)
        X_k(i,k)=Z_k(i,k)*S(i)+M(i);%elemento separatore di classe
    end

    f_c(i,:)=zeros(1,K); %predefinisco il vettore che ha come
componenti il numero reale di elementi ricadenti nelle classe
    for j=1:n
        if X(i,j)<=X_k(i,1), f_c(i,1)=f_c(i,1)+1; %se ricade in
quell'intervallo aumenta il contatore di numeri nella prima classe
        elseif X(i,j)>X_k(i,1) && X(i,j)<=X_k(i,2),
f_c(i,2)=f_c(i,2)+1;%se ricade in quell'intervallo aumenta il
contatore di numeri nella seconda classe
        elseif X(i,j)>X_k(i,2) && X(i,j)<=X_k(i,3),
f_c(i,3)=f_c(i,3)+1;%se ricade in quell'intervallo aumenta il
contatore di numeri nella terza classe
        elseif X(i,j)>X_k(i,3) && X(i,j)<=X_k(i,4),
f_c(i,4)=f_c(i,4)+1;%se ricade in quell'intervallo aumenta il
contatore di numeri nella quarta classe

```

```

    elseif X(i,j)>X_k(i,4) && X(i,j)<=X_k(i,5), f_c(i,5)=f_c(i,5)+1;
%se ricade in quell'intervallo aumenta il contatore di numeri nella
quinta classe
    elseif X(i,j)>X_k(i,5) f_c(i,6)=f_c(i,6)+1;%se ricade in
quell'intervallo aumenta il contatore di numeri nella sesta classe
    end
end
CHI_sper(i,1)=sum((f_c(i,:)-f_t).^2)/f_t; %calcolo del valore
sperimentale di chi-quadro
if CHI_sper(i,1)<=CHI_teor %test
    TEST(i,1)=1; %soddisfatto
else
    TEST(i,1)=0; %non soddisfatto
end
end
%*****
%Stima delle curve con dato Tr
Tr=[5,10,30,50,100,200]; %vettore dei tempi di ritorno
l=length(Tr);
for i=1:l
    P_Tr(i)=1-1/Tr(i); %probabilità di superamento associata a dato
Tr
    Z_Tr(i)=norminv(P_Tr(i)); %variabile standardizzata associata a
Tr (indipendente dalla distribuzione)
    for j=1:m
        X_Tr(j,i)=Z_Tr(i)*S(j)+M(j); %variabile associata a Tr
(dipende dalla distribuzione)
    end
end
end

```

5. LE COMUNITÀ ITTICHE PRESENTI NEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE SLIZZA.

Per cercare di soddisfare al meglio l'intento del presente elaborato di tesi, che si ricorda è quello di eseguire il progetto di ripristino della continuità ecologica, mediante passaggi per pesci, di un certo numero di aste del reticolo idrografico del torrente Slizza, è di cruciale importanza avere qualche nozione sull'ecologia delle acque interne ed in particolare sulle comunità ittiche presenti nel bacino.

Il primo aspetto, ossia quello ecologico, nel caso presente può essere riassunto nel concetto di *Continuum Fluviale* tema che, sebbene siano già stati fatti alcuni accenni nei capitoli precedenti, verrà formalmente trattato nel capitolo successivo e relativo al Deflusso Minimo Vitale in modo da avere le basi per affrontare anche quello relativo ai passaggi per pesci essendo il tema strettamente legato al tema dei corridoi biologici o più in generale ecologici.

Invece nel presente capitolo si intende affrontare il tema specifico delle comunità ittiche presenti nel bacino, la cui conoscenza è fondamentale per sapere se queste risentano o meno della presenza di ostacoli e, in caso affermativo, per progettare l'impianto di risalita in maniera efficace ed ottimale ossia in modo che sia fruibile alla maggioranza degli esemplari.

Questo studio, oltre che ad individuare e quindi risalire alle caratteristiche biologiche dei pesci presenti, deve portare ad avere anche una conoscenza di quello che è l'assetto zoogeografico passato ed attuale dell'area in modo da definire la scala spaziale di intervento, che può essere su singola asta, tratto d'asta, su bacino a seconda dell'origine delle problematiche e quindi di prevedere anche effetti e sviluppi successivi all'eventuale intervento.

A testimonianza dell'importanza di questa fase di studio in un progetto di ripristino viene spesso citato il caso del passaggio per pesci realizzato per ittiocompatibilizzare la diga del French Lake sul West Cache Creek nel sud-ovest dell'Oklahoma. Nella metà del 1930 venne spesa dal governo l'allora importante somma di oltre 30000 \$ e per la realizzazione di un passaggio tecnico a chiocciola di 4 rampe concentriche su struttura a torrino più una rettilinea per appendersi alla diga, che consentisse la risalita dei salmoni nel lago per scopi riproduttivi.

Solo dopo il suo completamento l'opera si rivelò totalmente inefficace a causa del fatto che i salmoni non erano specie autoctona dell'Oklahoma, stato nel quale non era stata introdotta.

Pertanto, per avere tutte le informazioni necessarie devono essere fundamentalmente svolte due indagini:

- Indagine storica;
- Indagine mediante campionamento;

Queste devono essere considerate come complementari in quanto non combinandone i risultati, specie se condotte in maniera discontinua nel tempo e nel territorio, le informazioni ottenute potrebbero essere non esaustive (Regione Toscana, 2009).

Nei paragrafi immediatamente successivi, dopo una loro breve introduzione, si riporteranno i risultati delle due indagini applicate al bacino del Torrente Slizza; dove si precisa sin da subito che:

- il campionamento a cui si fa riferimento è stato svolto nel lavoro di tesi di laurea magistrale in Biologia Ambientale, svolto da Marcolin Fabio, Relatore: Prof.ssa Elisabetta Pizzul dell'Università degli studi di Trieste i quali gentilmente hanno reso disponibili i dati ittici;
- i dati relativi alle immissioni di fauna ittica (nel periodo 2000 ÷ 2016) sono stati gentilmente forniti dall'ETPI (*Ente Tutela Patrimonio Ittico*) della regione Friuli Venezia Giulia (che si è chiamato ETP - *Ente Tutela Pesca* sino al 31-12-2017) che è anche la principale fonte da cui si sono reperite le informazioni per l'indagine storica;

In questi paragrafi le specie ittiche saranno introdotte in maniera molto sintetica ovvero solo per nome rimandandone la descrizione più dettagliata all'ultimo paragrafo del capitolo.

5.1. Indagine storica delle comunità ittiche del bacino idrografico del torrente Slizza.

Seguendo quella che è la tendenza ambientale generale, anche le condizioni ittologiche degli ambienti di acqua dolce sono oggetto di cambiamenti che, nel caso specifico, sono principalmente dovuti all'alterazione degli habitat e/o dei mesohabitat, ossia habitat di dimensioni medie dell'ordine delle decine di metri, fluviali ed all'introduzione di specie alloctone che hanno avuto origine in un areale diverso da quello in cui si trovano a causa dell'immissione intenzionale o artificiale da parte dell'uomo.

Questi fattori provocato ovunque modifiche delle situazioni popolazionistiche sia dal punto di vista quantitativo sia da quello qualitativo poiché, soprattutto a causa dell'immissione di specie aliene, vari autori quali Bianco, Martinoli, ... evidenziano un generalizzato processo di "omogeneizzazione" della fauna ittica locale, seguita dalla perdita di identità del distretto e da inquinamento genetico e zoogeografico.

In un quadro del genere è evidente l'indispensabilità di un'indagine storica in quanto essa consente in primo luogo di individuare le specie probabilmente presenti nel bacino e poi, nell'interesse dell'elaborato, di riscontrare gli effetti delle opere di sbarramento su di essi discriminandoli da quelli di natura prettamente biologica legata all'interazione tra specie alloctone - autoctone.

Ovviamente le principali fonti di un'analisi storica sono le ricerche e gli studi passati presenti nella letteratura del settore e le osservazioni/testimonianze dirette dei pescatori della zona in esame.

Per quanto riguarda il caso specifico del torrente Slizza, come già accennato, le principali fonti, usate anche per lo svolgimento dei successivi paragrafi, sono costituite dai *Quaderni ETP* e dalle pubblicazioni dell'AIAD (*Associazione Italiana Ittiologi Acque Dolci*) a partire dalle quali si è risaliti, per quanto possibile, anche a studi antecedenti alle stesse associazioni; in aggiunta a questi si segnala anche un breve colloquio avuto con alcuni pescatori della zona.

L'indagine storica è stata quindi svolta "a ritroso" ossia partendo già con prime informazioni di base desunte dalle carte ittiche e da quelle relative ai distretti zoogeografici per poi ricercare riferimenti alle comunità ittiche individuate nei documenti precedenti.

Per quanto riguarda le carte dei distretti, in esse il territorio nazionale viene gerarchicamente suddiviso in distretti, aree ed infine sub-aree aventi caratteristiche omogenee sulla base di criteri fisiogeografici e zoogeografici; pertanto risultano sono molto utili per eseguire un primo "filtraggio" sulle specie presenti.

Naturalmente negli anni si sono succedute un certo numero di queste suddivisioni, ad esempio una carta particolarmente dettagliata è quella riportata in figura seguente (Fig.5-1) relativa all'Italia Centro – Settentrionale nella quale per ogni sub-area sono specificate le zone "ittiche" in base alle comunità ittiche presenti. Con riferimento alla figura, Forneris et al. (2007) hanno individuato le seguenti zone: *Alpina (A)*, *Salmonicola (S)*, *Mista (M)* e *Ciprinicola (C)*.

Purtroppo dalle definizioni dei distretti della carta si osserva come questa, come avviene in altre carte di questo tipo, sia limitata esclusivamente ai bacini tributari dell'Adriatico e quindi non fornisca informazioni riguardanti il bacino del torrente Slizza.

Tuttavia questa condizione è stata recentemente superata poiché, ricordando che un significato simile a quello dei distretti era anche stato dato alle Idro-Ecoregioni definite nel 1 capitolo e riportate in figura (Fig.1-13), al vol.2 dell'Aggiornamento 2015-2021 del Piano di gestione delle acque del Distretto idrografico delle Alpi orientali, che rimanda all'Allegato 1 del D.M. 260/10 si legge: *Al fine di individuare le comunità ittiche attese nei vari tipi fluviali viene compiuta una prima suddivisione del territorio nazionale su base zoogeografica e una seconda articolazione su base ecologica. La prima porta a distinguere tre Regioni: Regione Padana, Regione Italico-peninsulare, Regione delle Isole. La seconda porta a distinguere, all'interno di ciascuna regione, tre Zone: Zona dei Salmonidi, Zona dei Ciprinidi a deposizione litofila, Zona dei Ciprinidi a deposizione fitofila; un'ultima zona fluviale, la Zona dei Mugilidi, non viene considerata in quanto appartenente alle acque di transizione.*

Sempre nel medesimo decreto sono quindi riportate le definizioni delle tre zone (Tab.5.1-I) e delle tre regioni; in particolare quest'ultime sono ottenute componendo le porzioni italiane delle Idro-Ecoregioni. Dalle definizioni si nota che:

- Il bacino del torrente Slizza, completamente ricadente nell' Idro-Ecoregione *Prealpi-Dolomiti* (si veda capitolo 1) è appartenente alla regione *Padana* indipendentemente dal fatto che esso sia tributario del Danubio;
- la zona ittica di maggiore interesse, in base alla descrizione sinora fatta del bacino del torrente Slizza, è quella dei *Salmonidi* che infatti saranno la famiglia che verrà discussa maggiormente nel proseguo e nella quale le comunità ittiche attese per la regione *Padana* sono riassunte in tabella seguente (Tab.5.1-II).

Tab.5.1-I: Caratteristiche ambientali delle tre “zone ittiche” dulcicole in cui è possibile suddividere i corsi d’acqua italiani riportate nel D.M. 260/10 e voluto dal Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque.

Zona dei salmonidi	Zona dei ciprinidi a deposizione litofila	Zona dei ciprinidi a deposizione fitofila
Acqua limpida e bene ossigenata; corrente molto veloce, con presenza di rapide; fondo a massi, ciottoli o ghiaia grossolana; scarsa o moderata presenza di macrofite; temperatura fino a 16-17 °C, ma generalmente inferiore.	Acqua limpida, soggetta però a torbide di breve durata, discretamente ossigenata; corrente veloce, alternata a zone di acqua calma e con profondità maggiore; fondo con ghiaia fine e sabbia; moderata presenza di macrofite; temperatura raramente superiore a 19-20 °C.	Acqua frequentemente torbida e solo moderatamente ossigenata in alcuni periodi; bassa velocità della corrente; fondo fangoso; abbondanza di macrofite; temperatura fino a 24-25 °C.

Tab.5.1-II: Estratto relativo alla zona dei salmonidi della regione Padana dell’elenco delle comunità ittiche attese nelle 9 zone zoogeografico-ecologiche fluviali principali Italiane riportate nel D.M. 260/10 e voluto dal Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque.

Zone Zoogeografico-ecologiche fluviali principali	Comunità ittiche attese
Zona dei Salmonidi della Regione Padana	<i>Salmo (trutta) trutta</i> (ceppo mediterraneo), <i>Salmo (trutta) marmoratus</i> , <i>Thymallus thymallus</i> , <i>Phoxinus phoxinus</i> , <i>Cottus gobio</i> .

Individuato un set di comunità ittiche attese per via normativa si intende ora verificarne la correttezza rifacendosi a studi di letteratura passati.

Convenzionalmente l’inizio degli studi ittiologici per quanto concerne le acque interne del Friuli Venezia Giulia può essere fissato nel 1854, secondo quanto affermato dalla *Relazione intorno alla pesca di lago e di fiume nella provincia di Udine* pubblicata negli annali del ministero di Agricoltura, industria e commercio nel 1874 che è stata probabilmente scritta dal Prof. G. A. Pirona (Mojetta, 1983).

Tuttavia, fatta eccezione per alcuni importanti studi svolti entro la prima metà del ‘900 quali quelli del Tellini nel 1985 e del Gridelli nel 1936, solo a partire dagli anni ‘70 si è visto un incremento di questi studi (Mojetta, 1983).

Ovviamente, non essendo obbiettivo della tesi, non è stata svolta una rassegna dettagliata di tutte le pubblicazioni ma ci si è concentrati soprattutto su quelle il più possibile recenti e specifiche per il bacino di interesse; tuttavia è utile riportare quanto scriveva il Gridelli nel 1936: “*Le acque dell’Istria, il bacino del Timavo, il bacino dell’Isonzo e tutte le acque del Friuli ossia tutti i corsi della Venezia Giulia tributari dell’Adriatico contengono pesci che si trovano anche nelle acque dolci delle altre regioni d’Italia. Mancano completamente le specie caratteristiche ed esclusive del Danubio nonché quelle endemiche di varie acque della penisola balcanica. La fauna ittica della Venezia Giulia è dunque una fauna identica alla fauna padana senza alcuna traccia di elementi faunistici caratteristici di altre regioni*”.

Questo estratto risulta interessante in quanto sottolinea che, dal punto di vista ittiologico, ci si attende che il bacino del torrente Slizza, tributario del Danubio, abbia delle particolarità rispetto a tutti gli altri bacini della regione Friuli Venezia Giulia cosa che dimostrerebbe la sua precedente esclusione dai distretti zoo-geografici.

Tenendo presente questa importante considerazione, risulta fondamentale per il proseguo dell’indagine, in modo da avere un unico riferimento nel testo per la ricerca dei nomi comuni e scientifici, riportare in tabella seguente (Tab.5.1-III) l’elenco delle specie ittiche d’acqua dolce presenti nella regione Friuli Venezia Giulia così come censite nella già citata relazione del 1874; in essa si ritrovano ovviamente tutte le comunità citate dal Piano di Gestione (si confronti con Tab.5.1-II) sulle quali quindi si è concentrata l’attenzione al fine di appurarne la presenza o meno nel bacino dello Slizza.

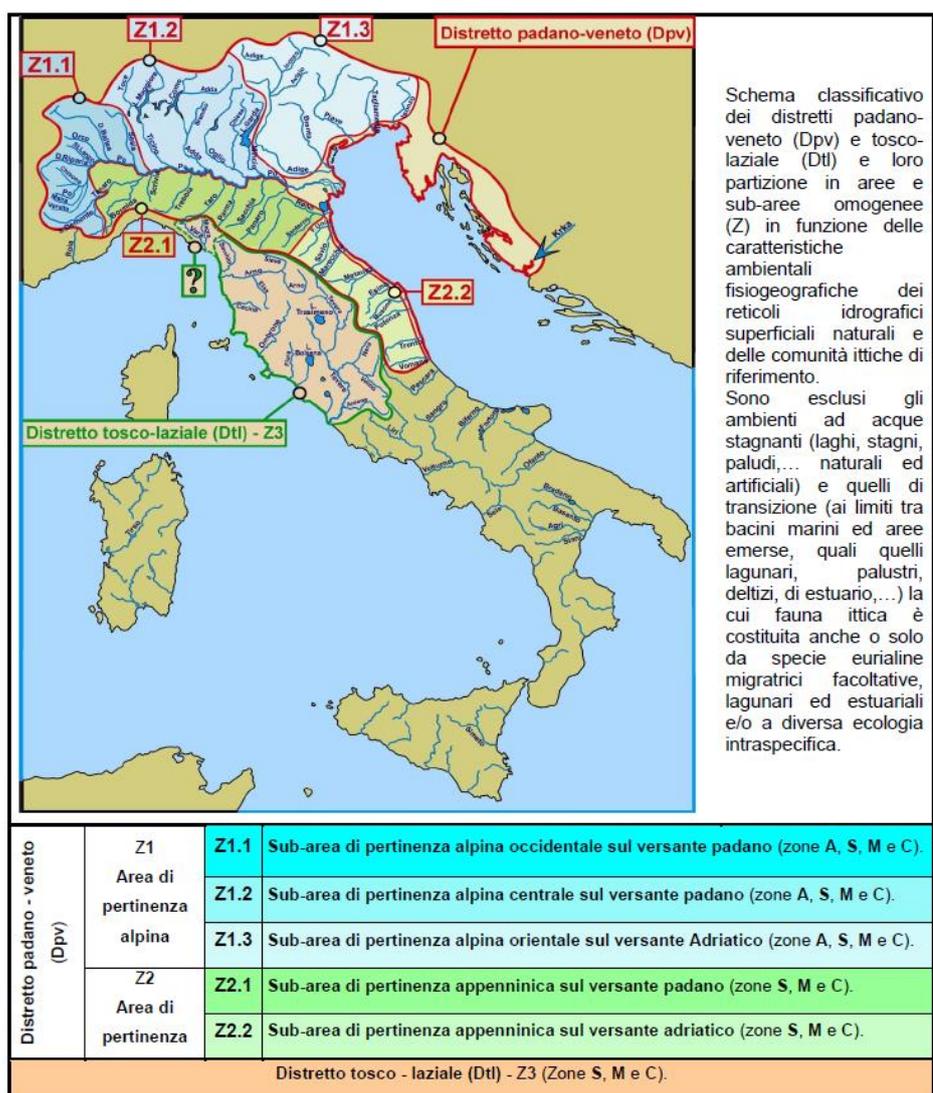


Fig.5-1: Esempio di suddivisione in distretti zoogeografici (da Forneris et al., 2006).

Tab.5.1-III: Specie e sottospecie d'acqua dolce segnalate in Friuli Venezia Giulia (da Mojetta 1983)

Famiglia	Nome scientifico	Nome comune
Petromyzonidae	<i>Lampetra fluviatilis</i>	Lampreda di fiume
	<i>Lampetra planeri zonandreae</i>	Lampreda di ruscello padana
	<i>Petromyzon marinus</i>	Lampreda di Mare
Acipenseridae	<i>Acipenser sturio</i>	Storione
	<i>Acipenser naccarii</i>	Storione cobice
	<i>Huso huso</i>	Storione ladano
Clupeidae	<i>Alosa fallax nilotica</i>	Cheppia o alosa
Salmonidae	<i>Salmo trutta trutta</i>	Trota fario
	<i>Salmo trutta marmoratus</i>	Trota marmorata
	<i>Salmo gairdneri</i>	Trota iridea
	<i>Salvelinus alpinus</i>	Salmerino alpino
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	Salmentino di fontana
Thymallidae	<i>Thymallus thymallus</i>	Temolo
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	Luccio

Famiglia	Nome scientifico	Nome comune
Cyprinidae	<i>Rutilus rubilio</i>	Rovella
	<i>Rutilus pigus</i>	Pigo
	<i>Leuciscus cephalus cabeda</i>	Cavedano italico
	<i>Leuciscus cephalus albus</i>	Cavedano
	<i>Leuciscus souffia muticellus</i>	Vairone
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Sanguinerola
	<i>Tinca tinca</i>	Tinca
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Scardola
	<i>Alburnus alburnus alborella</i>	Alborella
	<i>Chondrostoma soetta</i>	Savetta
	<i>Chondrostoma toxostoma</i>	Naso occidentale
	<i>Gobio gobio</i>	Gobione
	<i>Barbus barbus plebejus</i>	Barbo comune
	<i>Barbus meridionalis</i>	Barbo mediterraneo
	<i>Carassius carassius</i>	Carassio
<i>Carassius auratus</i>	Pesce rosso, Carassio rosso, Ciprino dorato	
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa comune	
Cobitidae	<i>Cobitis taenia bilineata</i>	Cobite italiano
	<i>Orthrias barbatulus</i>	Cobite barbatello
Ictaluridae	<i>Ictalurus</i>	Pesce gatto
Siluridae	<i>Silurus glanis</i>	Pesce siluro
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguilla
Gasterosteidae	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Spinarello
Cyprinodontidae	<i>Alphanius fasciatus</i>	Nono
Poeciliidae	<i>Gambusia affinis holbrooki</i>	Gambusia
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	Cefalo, muggine
	<i>Liza ramada</i>	Cefalo calamita
	<i>Liza aurata</i>	Cefalo dorato, Lotregano
	<i>Liza saliens</i>	Cefalo verzelata, Cefalo musino
	<i>Chelon labrosus</i>	Cefalo bosega
Arherinidae	<i>Atherina boyeri</i>	Latterino capoccione
Percidae	<i>Perce fluviatilis</i>	Pesce persico
Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	Persico sole, gobbetto, gobbo
	<i>Micropterus salmonides</i>	Persico trota
Percichthyidae	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Spigola
Blennidae	<i>Parablennius fluviatilis</i>	Cagnetta
Gobiidae	<i>Padogobius martensi</i>	Ghiozzo padano
	<i>Pomatoschistus canestrini</i>	Ghiozzetto cenerino
	<i>Pomatoschistus martensi</i>	Ghiozzetto epirotico
	<i>Nnipowitschia panizzai</i>	Ghiozzetto di laguna
Cottidae	<i>Cottus gobio</i>	Scazzone
Peuronectidae	<i>Platichthys flesus luscus</i>	Passera pianuzza

Procedendo con la ricerca si è subito visto che la specie maggiormente studiata (Mojella, 1983) tra quelle citate in tabella risulta essere la trota fario *Salmo [trutta] trutta* che, anche nell'ambito del presente elaborato, risulta essere particolarmente interessante in quanto rappresenta proprio la principale peculiarità e quindi differenza del bacino dello Slizza rispetto a tutti gli altri bacini regionali.

Come si vede in figura (Fig.5-2) questa trota è infatti presente in gran parte del territorio nazionale e praticamente ovunque in Friuli Venezia Giulia fatta eccezione per i tratti di fiume vicini al mare dove è divenuta di gran lunga la principale componente della fauna ittica regionale (Buda Dancevich, 1982).

Tuttavia, sia la mappa appena riportata, sia molti studiosi (Tellini, 1985; Gridelli, 1936), sottolineano come molte popolazioni di trota fario in Italia siano in realtà per gran parte alloctone.

Questa specie infatti era originariamente assente da tutte le acque del versante adriatico e quindi anche da quelle del Friuli Venezia Giulia dove però esiste comunque una comunità autoctona presente che si trova proprio nel bacino del torrente Slizza; questa trota è infatti caratteristica dei bacini danubiani (Buda Dancevich, 1982) e spesso viene chiamata *trota fario danubiana* o di ceppo danubiano.

Quindi, la massiccia presenza di trota fario in regione, ad esclusione del bacino dello Slizza, è considerabile recente ed imputabile esclusivamente alle semine per ripopolamento svolte da inizio '900; si precisa che queste immissioni, svolte non solo in Italia, sono state spesso realizzate utilizzando soprattutto trote fario di ceppo atlantico le quali, nel bacino dello Slizza, hanno provocato la quasi scomparsa della trota fario autoctona del Danubio (Honsig-Erlenburg & Kugi, 2012) e un gravissimo pericolo per la trota marmorata a seguito di ibridazioni (Specchi, 2004).

A testimonianza della prevalente presenza di questa specie nel bacino idrografico dello Slizza si riassumono in figura (Fig.5-3) i risultati di un campionamento svolto nel 2004 in località S. Antonio sul Rio Bianco dall'ETPI in occasione del progetto di aggiornamento della carta ittica; dall'immagine si evince che il 100% delle catture ha interessato esemplari di trota fario.

Il medesimo risultato si evince anche da campionamenti svolti per studi ancora precedenti (Buda Dancevich, 1982) nei quali la trota fario figura come una specie catturata in tutti i principali corpi idrici del bacino quali il Torrente Slizza, il Canale Bartolo, il Rio Bianco ed i Laghi di Fusine e di Raibl.



Fig.5-2: Areale distributivo di *Salmo [trutta] trutta* in Italia – riempimento pieno per le popolazioni alloctone, tratteggiate le popolazioni indigene (Zerunian, 2002).

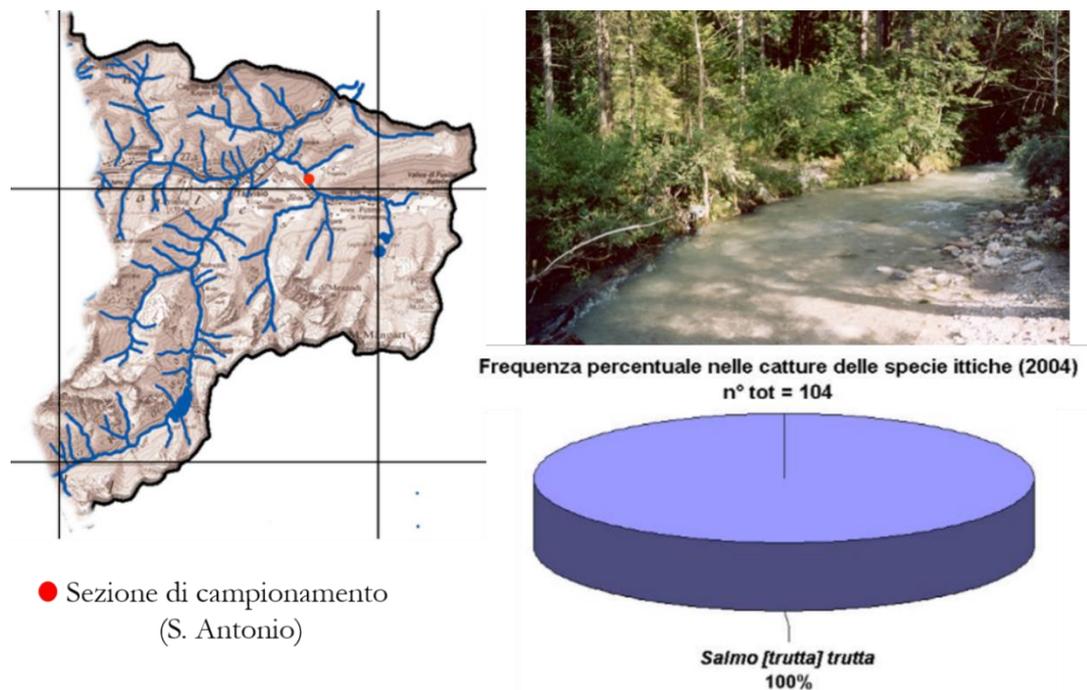


Fig.5-3: Risultati del campionamento ittico svolto nel 2004 sul Rio Bianco in località S. Antonio dall'ETPI (modificata da www.entetutelapesca.it).

Quanto visto sino ad ora ovviamente implica il fatto che il bacino del torrente Slizza sia prevalentemente citato/coivolto in relazione a studi sulla specie *Salmo [trutta] trutta*; tuttavia, sebbene molto meno numerosi, non mancano validi riferimenti alla presenza/assenza di altre specie in esso, dei quali si riporta di seguito un breve elenco:

- Nella relazione di “Descrizione generale del territorio” del Piano Regionale di Tutela delle Acque (PRTA, 2017), nel paragrafo relativo ai “Laghi alpini naturali di bassa quota”, rivolto quindi ai laghi di Fusine ed al lago di Raibl, viene definita la fauna ittica presente come segue: “La fauna ittica presente naturalmente è costituita dalla sanguinerola, la trota fario è stata certamente introdotta dall'uomo, mentre è discusso lo status delle popolazioni di salmerino alpino.”. Per quanto riguarda invece la fauna ittica dei torrenti, lo stesso documento, senza specificare le aste, afferma che: “Le acque dei torrenti alpini sono popolate esclusivamente da trote (marmorata e fario) e dallo scazzone.”;
- Nel sito web del Consorzio di Promozione Turistica del Tarvisiano, di Sella Nevea e del Passo Pramollo è presente un elenco delle specie ittiche presenti nel bacino del torrente Slizza accompagnato da una loro breve descrizione ed in alcuni casi anche localizzazione. Si precisa che in questi casi la fonte citata è l'Ufficio per la Biodiversità del Corpo forestale dello Stato. Di seguito si riportano le specie e, qualora presenti, le informazioni interessanti riportate nel suddetto sito:
 - Trota fario (*Salmo trutta trutta*);
 - Trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*);
 - Cavedano (*Leuciscus cephalus*);
 - Sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*);
 - Scazzone (*Cottus gobio*). La sua presenza viene segnalata nelle riserve di Cucco e di Rio Bianco;
 - Salmerino alpino (*Salvelinus alpinus*). Per questa specie, concordemente col PRTA, viene specificato che essa si trova solo nei laghi di Fusine dove però la popolazione non è originaria ma proviene dal Lago Sloveno di Bohinj. Questa ipotesi di introduzione nei laghi alpini Italiani, sebbene non citando esplicitamente quelli Tarvisiani, è sostenuta anche in letteratura (Piccinini et al., 2002);

- Contrariamente a quanto affermato nel precedente punto, diversi autori (Stoch et al., 1996; Buda Dancevich, 1982) sostengono l'assenza della trota marmorata nel bacino dello Slizza. Questa ipotesi trova conferma anche in diverse carte ittiche presenti in letteratura di cui un esempio è riportato in figura seguente nella quale appunto si nota la mancata segnalazione del reticolo del Torrente Slizza tra quelli abitati dalla trota marmorata (Fig.5-4);
- Nella tesi di diploma in Ingegneria dell'ambiente e delle risorse di Paolo Dreossi, svolta in collaborazione con l'ETPI nell'A.A. 1996/1997 e citata in bibliografia, vennero segnalate le seguenti popolazioni nel bacino del torrente Slizza:
 - Trota fario (*Salmo [trutta] trutta*) che viene nuovamente segnalata come unica specie recuperata in corrispondenza di campionamenti ittici sulle aste principali del bacino nel caso specifico sul Torrente Slizza, Rio Bartolo, Rio Freddo e Rio del lago di Fusine;
 - Salmerino alpino (*Salvelinus alpinus*). Sempre segnalato nei laghi di Fusine e di Raibl stavolta specificandone l'origine autoctona in quanto specie relitta delle glaciazioni che è stata poi successivamente sostituita da esemplari introdotti dalla Slovenia. A dimostrazione della sua presenza sono citati anche i lavori di Gridelli (1936), D'Este (1978) e Cassinari-Miccoli-Specchi (1979);
 - Sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*). Segnalato nei laghi di Fusine;
 - Scazzone (*Cottus gobio*). Introdotta nel bacino del torrente Slizza da quello del vicino Fella; esso viene segnalato negli stessi ambienti della trota della quale si nutre delle uova.

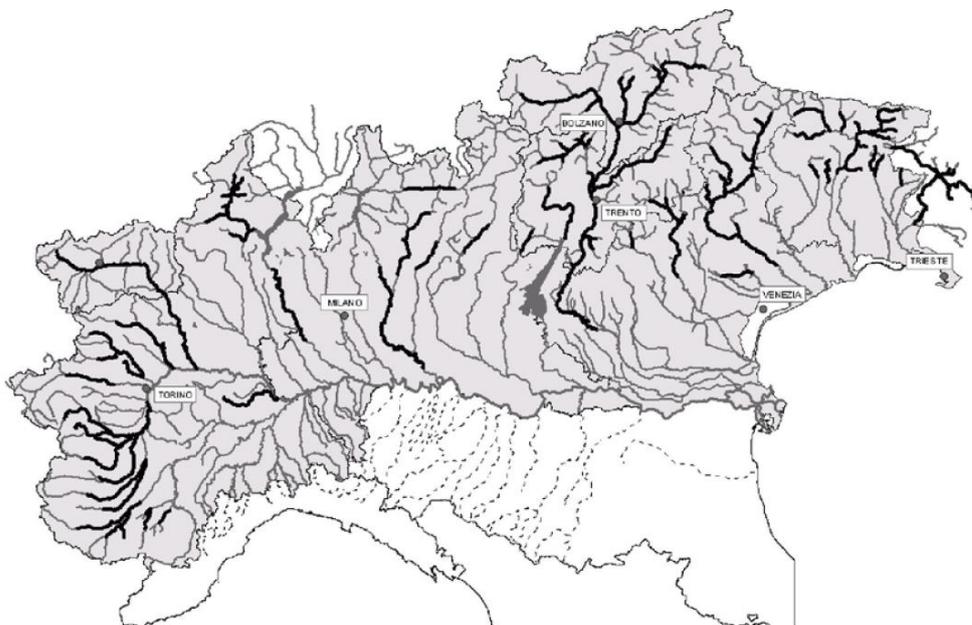


Fig.5-4: Mappa di distribuzione della trota marmorata nel Bacino dell'Alto Adriatico, con evidenziati in grassetto i fiumi dove si è accertata la presenza della specie; corsi d'acqua evidenziati fuori dell'area col fondo grigio ricadono nella Repubblica di Slovenia (da Turin et al., 2006).

Facendo quindi un'intersezione di tutte le informazioni riportate è possibile concludere che, a seguito dell'indagine storica, ad oggi le comunità ittiche attese nel bacino del torrente Slizza, in quanto maggiormente citate e confermate dagli studiosi del settore, sono: la trota fario, il salmerino alpino, lo scazzone e la sanguinerola.

Invece viene praticamente sempre considerata assente la trota marmorata, vero salmonide endemico del distretto padano-veneto (Turin et al., 2004), quindi di tutti i bacini tributari dell'alto Adriatico e pertanto alter-ego adriatico della trota fario danubiana presente nello Slizza.

5.2. Indagine mediante campionamento.

Come già detto ad inizio capitolo, l'indagine storica è sicuramente una pratica sempre utile e necessaria ma di per certo anche non sufficiente per conoscere lo stato attuale dell'ittiofauna in un dato bacino; questo obiettivo può essere raggiunto solamente affiancandogli un'indagine mediante campionamento ittico che di fatto, come tutte le misure dirette, è l'unico strumento per conoscere in maniera certa le comunità ittiche presenti, per verificare le ipotesi fatte nell'indagine storica e per conoscere le loro caratteristiche quantitative come la numerosità e qualitative come ad esempio il peso, la lunghezza, ecc....

Inoltre vale la pena precisare che nello specifico del presente lavoro di tesi un altro grande vantaggio che si ha nell'avere a disposizione dati di campionamenti ittici è che questi forniscono informazioni sull'impatto di derivazioni e/o briglie ed anche sull'efficacia o meno degli eventuali passaggi per pesci qualora presenti a valle delle stazioni di raccolta.

In altri termini, i risultati dei campionamenti, oltre a completare lo studio delle comunità ittiche propriamente detto, possono essere un discriminante, a seconda della presenza o meno dei pesci oppure della loro diminuzione, per l'individuazione delle aste che necessitano o meno di interventi di ripristino mediante scale di risalita.

Ovviamente, per fare correttamente quanto appena detto, ai dati di campionamento vanno anche associati quelli relativi alle immissioni per ripopolamento relative allo stesso periodo; questo per conoscere la reale consistenza dell'ittiofauna capace di sopravvivere nel bacino.

Chiarito ciò di seguito verranno elaborati i dati relativi ai campionamenti ittici e alle immissioni di ripopolamento svolti nel bacino idrografico del torrente Slizza.

5.2.1. Elaborazione dei dati ittici di campionamento.

Si ricorda nuovamente che i dati ittici che verranno elaborati sono quelli relativi al già citato lavoro di tesi riportato in bibliografia di cui è stata gentilmente concesso l'utilizzo.

Come già accennato tali dati derivano da una serie di 10 campionamenti svolti su altrettante stazioni di campionamento nel periodo 2010 ÷ 2016.

Si riportano in tabella seguente (Tab.5.2.1-I) le caratteristiche principali delle varie stazioni, mentre, mantenendo la numerazione adottata nella tabella, in figura (Fig.5-5) di mostra come queste sono disposte nel bacino.

Si fa notare come le stazioni siano state posizionate lungo quasi tutte le aste principali del bacino permettendone così una buona descrizione.

Tab.5.2.1-I: Caratteristiche principali delle stazioni di campionamento ittico.

ID	N* [m]	E* [m]	Asta	Località	Data rilievo
1	5150488	2414959	Rio Nero	Fusine Val Romana	11/08/2016
2	5148159	2410603	Torrente Slizza	Tarvisio	11/08/2016
3	5150191	2415361	Rio del Lago (di Fusine)	Fusine Val Romana	31/07/2015
4	5147256	2409823	Rio Freddo	Rio Freddo	31/07/2015
5	5152054	2408636	Canale Bartolo	Camporosso	03/08/2015
6	5153275	2414725	Torrente Slizza	Coccau	13/07/2011
7	5149101	2411187	Torrente Slizza	Nessuna	08/06/2012
8	5148451	2413334	Torrente Slizza	S. Antonio	10/07/2010
9	5144346	2410335	Rio del Lago (di Raibl)	Cave del Predil	06/07/2010
10	5151501	2414266	Rio Bianco	Ortigara	06/07/2010

* Coordinate Gauss – Boaga Fuso Est

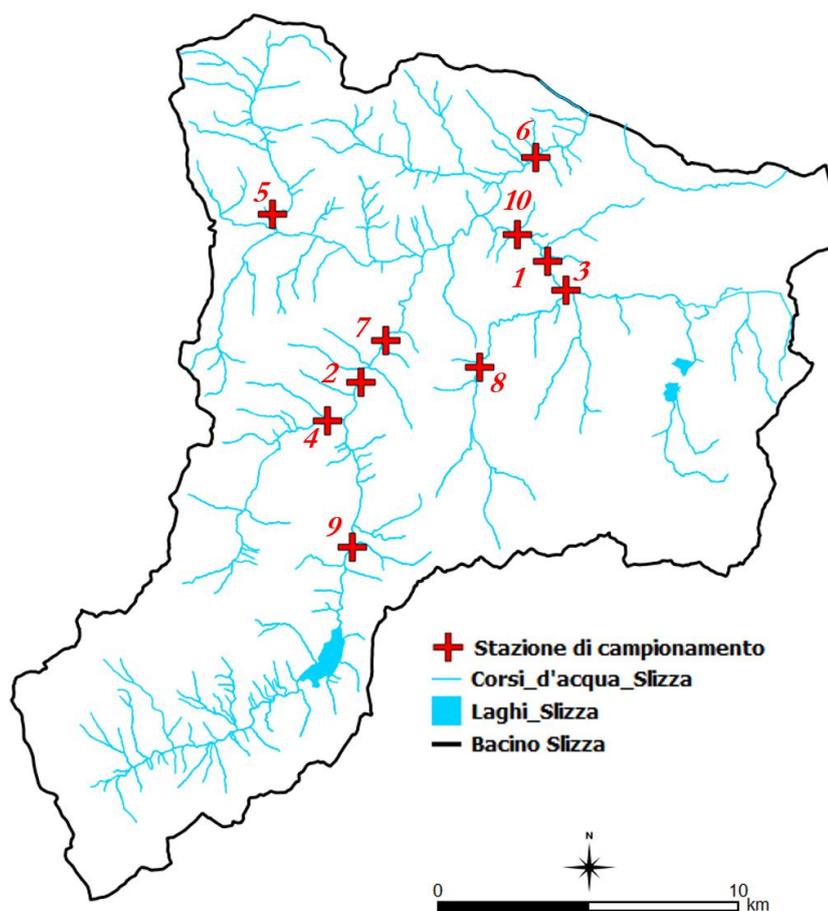


Fig.5-5: Posizione delle stazioni di campionamento ittico nel bacino del torrente Slizza.

I dati ittici completi relativi ai campionamenti, fatta eccezione per una serie di informazioni relative alla stazione che si sono giudicate non fondamentali per l'elaborazione, sono riportati in allegato (Appendice F); come si nota, per ogni stazione vengono elencate le specie campionate e per ciascuna di esse sono state misurate le seguenti grandezze che nel proseguo sono indicate con la seguente notazione:

- N [-]: numerosità per classe di età annua e totale della specie campionata;
- L_m [cm]: lunghezza media [cm] per classe d'età della specie campionata;
- W_m [g]: Biomassa media per classe d'età annua e totale della specie campionata;
- δ [esemplari/m²]: densità ittica media per classe d'età annua e totale stimata della specie campionata;
- D [g/m²]: densità ittica media per classe d'età annua e totale stimata delle specie campionata;

Si riportano in figura seguente (Fig.5-6) i risultati del campionamento georiferiti sulla carta del bacino; da questa il primo e fondamentale risultato che si osserva è che non vi sono stazioni in cui non sono stati catturati pesci.

Questo fatto, tenendo anche conto del periodo di campionamento, permette di affermare che sicuramente vi è fauna ittica in tutti i corsi d'acqua principali del bacino dello Slizza; non è possibile invece affermare nulla sulle aste minori non essendovi dati ittici disponibili.

Più in dettaglio, osservando i grafici a torta desunti dai dati nei quali le percentuali sono basate sulla numerosità di pesci campionati, si nota immediatamente che le specie campionate sono 3:

- *Salmo trutta*: la trota che, per quanto visto nel paragrafo precedente, pur non essendo specificato nei dati originali, è sottinteso essere trota fario danubiana, come ci si aspettava, è stata abbondantemente rilevata in tutte le stazioni di campionamento. Più precisamente su 8/10 delle stazioni essa è l'unica specie campionata;
- *Salvelinus alpinus*: il salmerino alpino viene rilevato, come ci si aspettava sapendo che questa è una specie molto sedentaria che vive nei laghi alpini, solamente nella stazione 9, dove rappresenta la maggioranza dei pesci catturati e che infatti è sita sul rio del Lago (di Raibl) nelle vicinanze del lago stesso.

Si ipotizza che non siano stati rilevati altri esemplari nel bacino del Rio del Lago di Fusine in quanto in esso (come si vede da entrambe le figure Fig.5-5 e Fig.5-6) tutte le stazioni di campionamento sono piuttosto distanti dagli omonimi laghi superiore ed inferiore;

- *Cottus gobio*: lo scazone viene rilevato solamente nella stazione 6, dove rappresenta la maggioranza dei pesci catturati, sita sul torrente Slizza in località Coccau. Non sorprende che si trovi al di fuori della zona antropizzata di Tarvisio essendo questo pesce un indicatore della qualità ambientale dell'acqua.

Questo dato è comunque sufficiente a verificarne la presenza nel bacino ipotizzata nel paragrafo precedente.

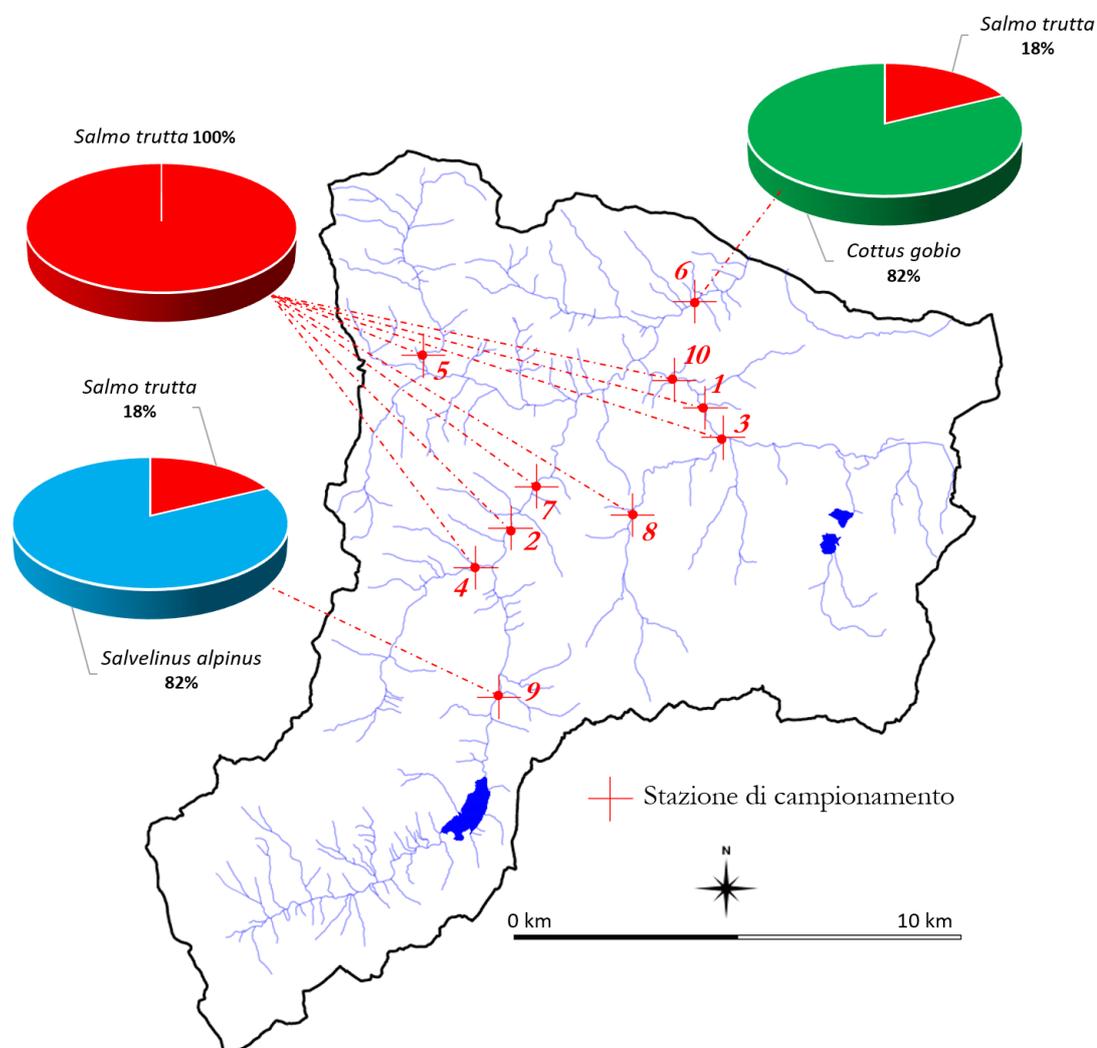


Fig.5-6: Risultati dei campionamenti ittici svolti nel periodo 2010 ÷ 2016. Grafici a torta costruiti sulla numerosità di pesci rilevati.

Quindi, anticipando che i dati di immissione per ripopolamento non coinvolgeranno altre specie oltre a quelle appena citate, è già possibile affermare che, l'indagine mediante campionamento conferma che,

tra le specie presenti nel bacino del torrente Slizza ipotizzate nell'indagine storica, attualmente sono per certo presenti la trota fario, il salmerino alpino e lo scazzone.

Queste importanti considerazioni iniziali acquistano ancora più significato considerando che, a seguito degli studi svolti dall'ETPI del Friuli Venezia Giulia, è nota la distribuzione dell'habitat riproduttivo della trota fario, che si anticipa sarà la specie "dimensionante" per le scale di risalita, nel bacino del torrente Slizza (Fig.5-7).

La figura appena citata risulta fondamentale per il lavoro di tesi in quanto permette di individuare le aste che sicuramente non saranno interessate da migrazioni a scopi riproduttivi.

Come ci si aspettava la figura evidenzia come le zone di riproduzione della trota fario siano essenzialmente coincidenti con le aste principali del reticolo fatta eccezione per il Canale dei Carri ed il Rio Vaisonz; quest'ultimo è infatti noto per avere un carattere fortemente intermittente che ovviamente rende impossibile o arresta il processo di risalita, riproduzione e deposizione delle uova.

Per le stesse ragioni risultano non adeguate alla riproduzione anche la grande maggioranza delle aste minori del reticolo; a tal proposito è interessante notare come gran parte dell'eccezione, ossia delle aste minori adatte alla riproduzione, siano le aste affluenti del Rio del Lago di Raibl nel tratto a monte del lago stesso (detto Rio del Lago Superiore).

Tale fatto potrebbe essere conseguenza dell'antropizzazione praticamente nulla di quella zona e della sua elevata piovosità dimostrata nel precedente capitolo la quale potrebbe smorzare l'intermittenza dei torrenti permettendo la riproduzione dei pesci presenti nel lago o nei tratti più a valle.

In tali aste, sebbene queste possano comunque avvenire migrazioni per motivi trofici o possano esserci presenza per immissioni, la priorità di intervento risulterà comunque inferiore rispetto a quella che si avrebbe in aste che hanno anche funzione di habitat riproduttivo.

La selezione delle aste di intervento verrà sviluppata nei capitoli seguenti tuttavia si vuole far notare che tutte le stazioni di campionamento ricadono in habitat riproduttivi e quindi i campionamenti fotografano effettivamente la situazione nelle aste che avrebbero interesse prioritario di intervento.

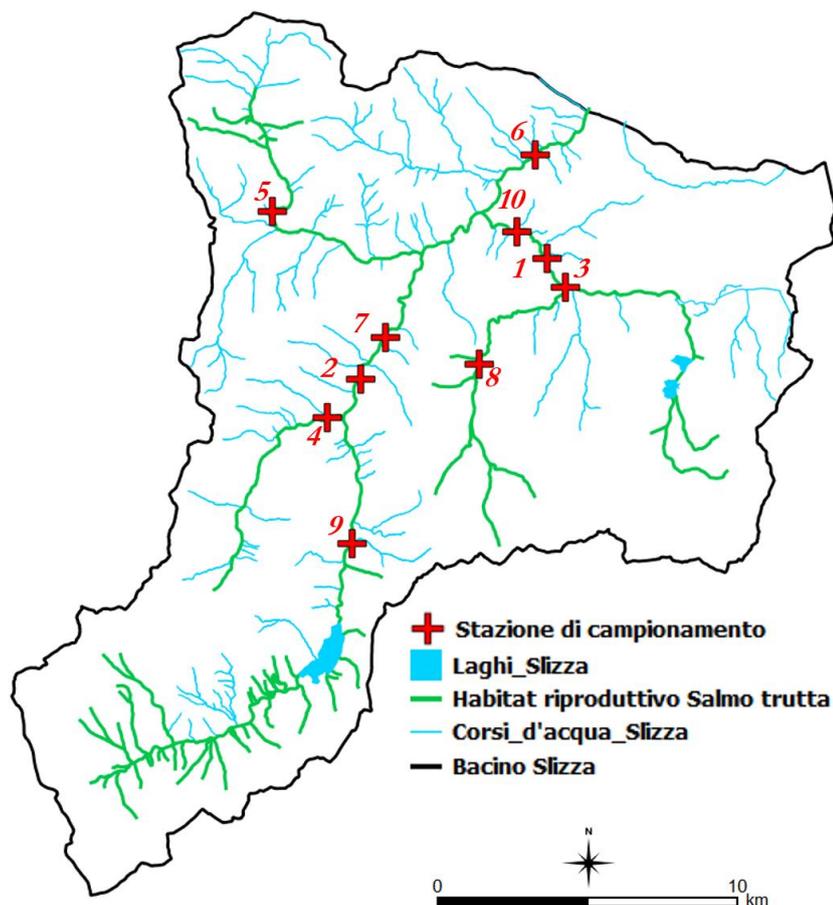


Fig.5-7: Distribuzione dell'habitat riproduttivo della *Salmo trutta* nel bacino del torrente Slizza (fonte: ETPI del Friuli Venezia Giulia) e stazioni di campionamento ittico.

Una prima elaborazione, utile per avere una comprensione grafica d'insieme, ovvero a scala di bacino, dei dati campionari, consiste nel realizzare le distribuzioni percentuali delle specie ittiche in termini di numerosità (Fig.5-8) e di biomassa totale (Fig.5-9) stimata moltiplicando la biomassa media per la numerosità in ciascuna classe d'età.

Entrambi i diagrammi sottolineano la netta prevalenza della trota rispetto alle altre specie, risultato fortemente atteso che tuttavia verrà in seguito approfondito epurando dal computo le immissioni; inoltre si evidenzia anche che, a parità di numerosità, il salmerino alpino, vista l'età e dimensioni medie maggiori, prevale sullo Scazzone in termini di biomassa.

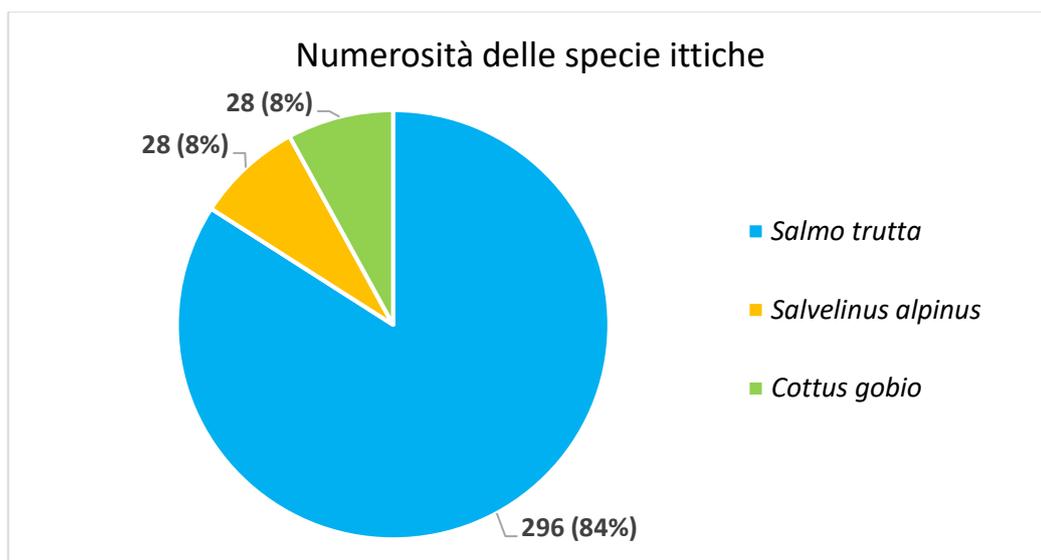


Fig.5-8: Distribuzione percentuale delle specie ittiche in termini di numerosità nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice F).

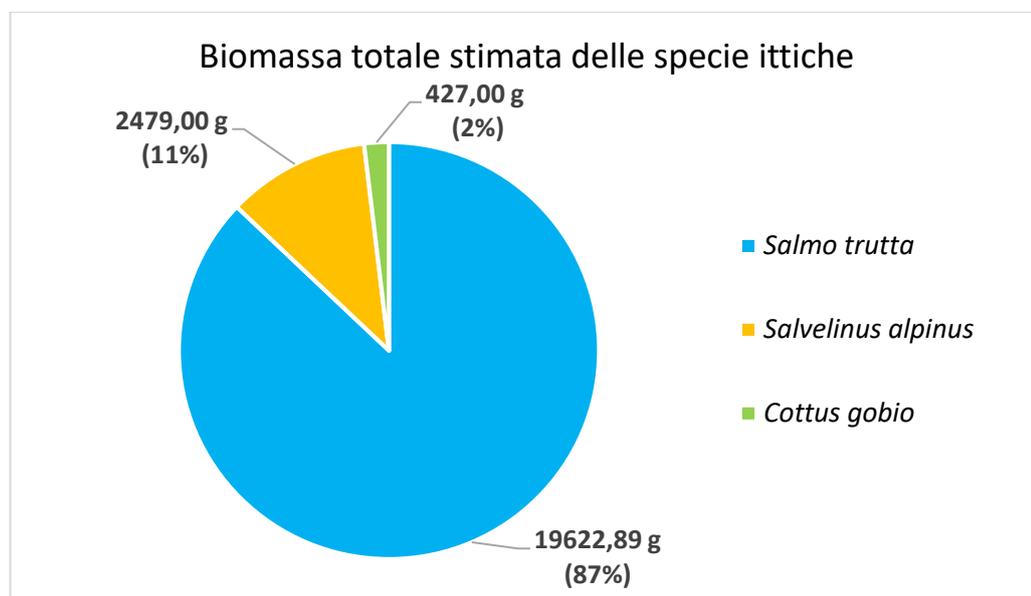


Fig.5-9: Distribuzione percentuale delle specie ittiche in termini di biomassa totale stimata nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice F).

Un'altra elaborazione a scala di bacino, ossia trascurando le differenze tra le varie aste, consiste nel riportare, per ogni specie campionata, l'andamento della numerosità totale, della biomassa totale

campionata (in hg), e della lunghezza media in funzione della classe d'età (Fig.5-10, Fig.5-11 e Fig.5-12).

Questi diagrammi riescono a dare le informazioni qualitative delle varie specie tra le quali, soprattutto la lunghezza sarà fondamentale per il progetto dei passaggi per pesci e costituiscono il dato sperimentale che verrà poi confrontato in fase di progetto con valori presenti in letteratura relativi alle varie specie.

Si può già osservare che:

- dai rapporti biomassa/lunghezza le tre specie risultano assai diverse tra loro ed in particolare, tendendo anche conto della numerosità, si trova facile dimostrazione della netta maggioranza di trote evidenziata anche dal grafico a torta precedente (Fig.5-8);
- la specie che copre interamente lo spettro di età è la *Salmo trutta* per la quale la numerosità maggiore si riscontra nelle classi d'età inferiori ai 3 anni.

Il contrario avviene per il Salmerino e Scazzone sono stati campionati solo esemplari di età non inferiore ai 2 anni.

Questo fatto conferma nuovamente la prevalente presenza della trota e soprattutto sembra confermare la sua capacità di riuscire a riprodursi nonostante i manufatti presenti.

In realtà quest'ultima affermazione è un'ipotesi, che verrà meglio investigata in seguito riportando gli stessi grafici per ogni stazione, potrebbe anche essere smentita dall'analisi delle immissioni per ripopolamento;

- il picco di biomassa per lo scazzone e per il salmerino, coincidenti con quelli di numerosità, si hanno per i 4 anni di età mentre per la trota si ha il picco di biomassa per la classe di età di 3 anni per cui la numerosità non è assolutamente la più elevata;

- ovvia conseguenza dei punti precedenti è che la specie che presenta la maggiore variabilità in termini di lunghezza e biomassa nel bacino è senz'altro la trota fario della quale si fa notare che il range di lunghezze 7.4 cm ÷ 28.6 cm contiene interamente quelli delle altre specie campionate delle quali però mancano delle classi di età.

Ovviamente, per quanto riguarda la lunghezza, saranno di particolare interesse i valori minimi relativi alle classi di età più basse in quanto l'intervento di ripristino dovrà essere agibile per la maggioranza della popolazione.

Questo tema verrà però sviluppato in seguito in quanto vi è ancora da considerare la variabilità spaziale della lunghezza a parità d'età nel bacino e soprattutto il comportamento migratorio delle specie.

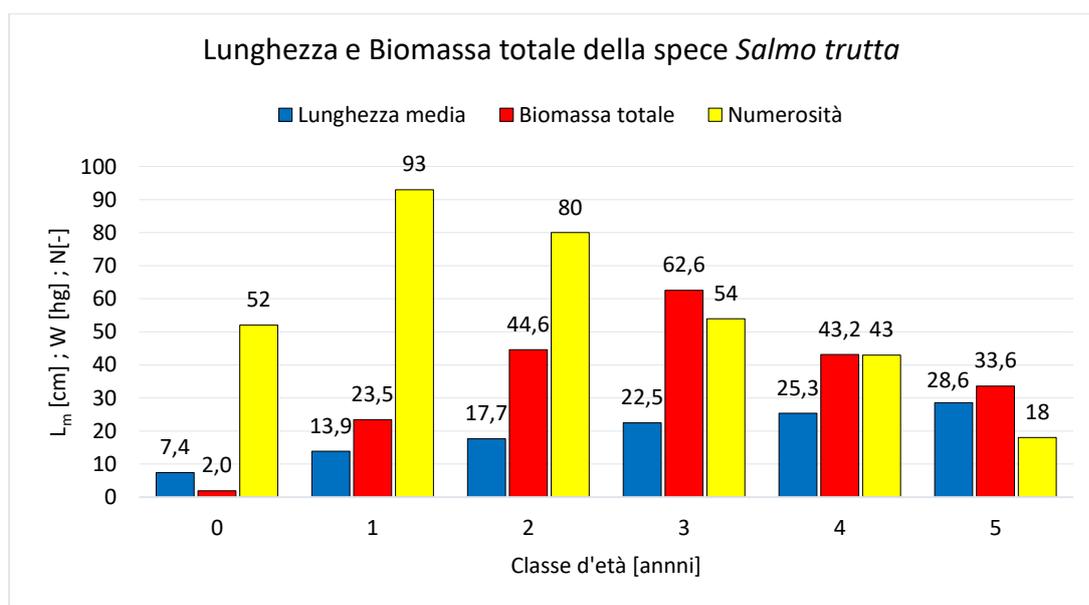


Fig.5-10: Andamento per classe d'età della lunghezza e della biomassa totale della specie *Salmo trutta* nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice F).

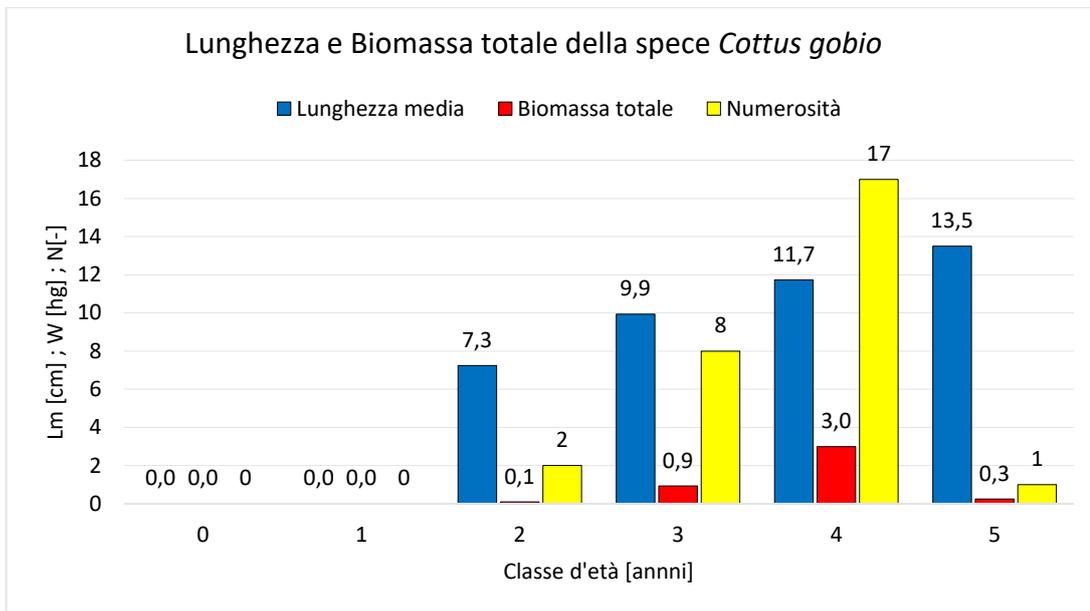


Fig.5-11: Andamento per classe d'età della lunghezza e della biomassa totale della specie *Cottus gobio* nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice F).

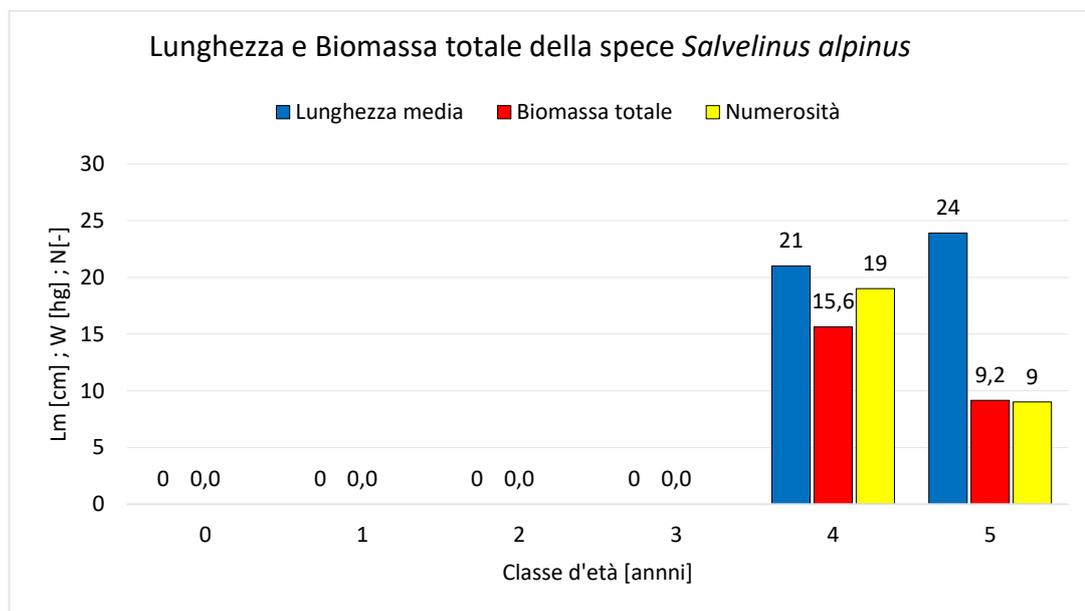


Fig.5-12: Andamento per classe d'età della lunghezza e della biomassa totale della specie *Salvelinus alpinus* nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice F).

Conclusa l'analisi dell'insieme bacino, per osservare le differenze tra le varie aste, ricordando che si è già discusso in precedenza la distribuzione spaziale delle specie nel bacino, si riportano gli andamenti della biomassa totale (in kg) e della densità ittica (in g/m²) ricavate su ogni stazione (Fig.5-13).

Da suddetta figura si nota che:

- i valori di densità ittica risultano abbastanza variabili all'interno del bacino; risultano ricorrenti valori compresi tra 1.1 ÷ 1.5 g/m² che si riscontrano in molti dei suoi affluenti principali come

il Rio Nero, Rio Bianco, Rio del Lago di Raibl e Rio Freddo soprattutto in sponda destra, visto che in sinistra sul canale Bartolo si riscontra un valore circa doppio.

I massimi di densità si riscontrano entrambi nel sottobacino del rio Bianco con picco in corrispondenza del rio del Lago di Fusine che, come già osservato più volte nell'elaborato, risulta un'asta sempre ricca d'acqua grazie alla notevole presenza di sorgenti.

Lungo il torrente Slizza invece si trovano i valori minimi di densità in corrispondenza delle stazioni 6 e 7 rispettivamente successiva e precedente all'immissione sia del rio Bianco che del Canale Bartolo.

Tra i due, il valore minimo si ritrova per la stazione 6 la quale effettivamente è quella più a valle di tutte quindi per cui il bacino sotteso è massimo e nella quale erano stati rilevati principalmente esemplari di scazzone aventi piccole dimensioni. Nella stazione 7 la densità è leggermente più elevata ma comunque inferiore a quella della stazione 2 poco distante;

- anche i valori di biomassa totale non evidenziano assolutamente una situazione omogenea e di facile interpretazione tuttavia ciò che si può subito notare è la relativa abbondanza di biomassa nei corsi d'acqua a valle dei laghi cioè dei due Rio del Lago che, nel caso di quello di Fusine si riscontra anche nei corsi d'acqua circostanti.

Inoltre, a differenza della densità ittica, nel torrente Slizza si trovano valori elevati nelle stazioni 2 e 7 tra le quali comunque vi è un sensibile calo che verrà successivamente investigato. Valori nuovamente molto bassi si ritrovano per la stazione in località Coccau;

Si precisa che quest'ultimo diagramma e le osservazioni suddette andranno completati a seguito dell'elaborazione dei dati di immissione ittica; inoltre si ricorda anche che una certa variabilità del dato può anche essere attribuita al fatto che i campionamenti, sebbene tutti relativi alla stagione estiva, non sono riferiti allo stesso anno.

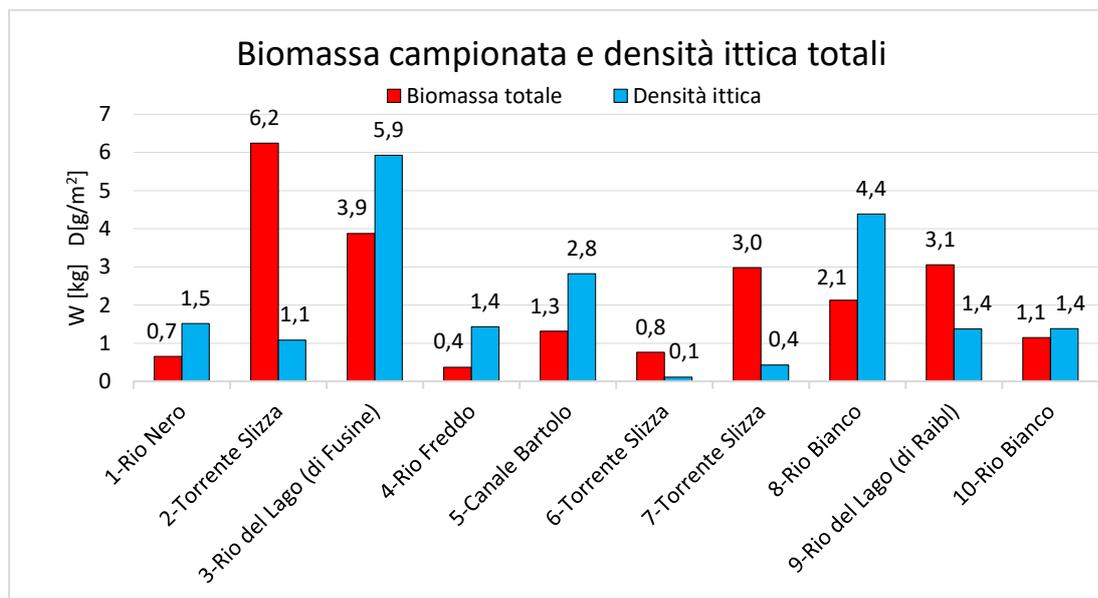


Fig.5-13: Densità ittica stimata e biomassa totale campionata per le varie stazioni di campionamento ittico nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice F).

Le ultime elaborazioni riguardanti i soli dati ittici di campionamento saranno rivolte esclusivamente alla specie *Salmo trutta*; questo perché, oltre che ad essere la specie di gran lunga prevalente nel bacino, anche per il suo comportamento migratorio che verrà visto nei successivi paragrafi, sarà la specie ittica "dimensionante" per le opere di risalita.

Come già sottolineato altre volte, essendo lo studio di ripristino oggetto del presente elaborato rivolto all'intero reticolo idrografico, diventa fondamentale conoscere la variabilità spaziale quali-quantitativa della fauna ittica ed in questo caso particolare della trota; per cui di seguito verranno riportati gli andamenti, sulle varie aste dei dati di numerosità (Fig.5-14), densità ittica (Fig.5-15) e lunghezza media (Fig.5-16) della specie *Salmo trutta*.

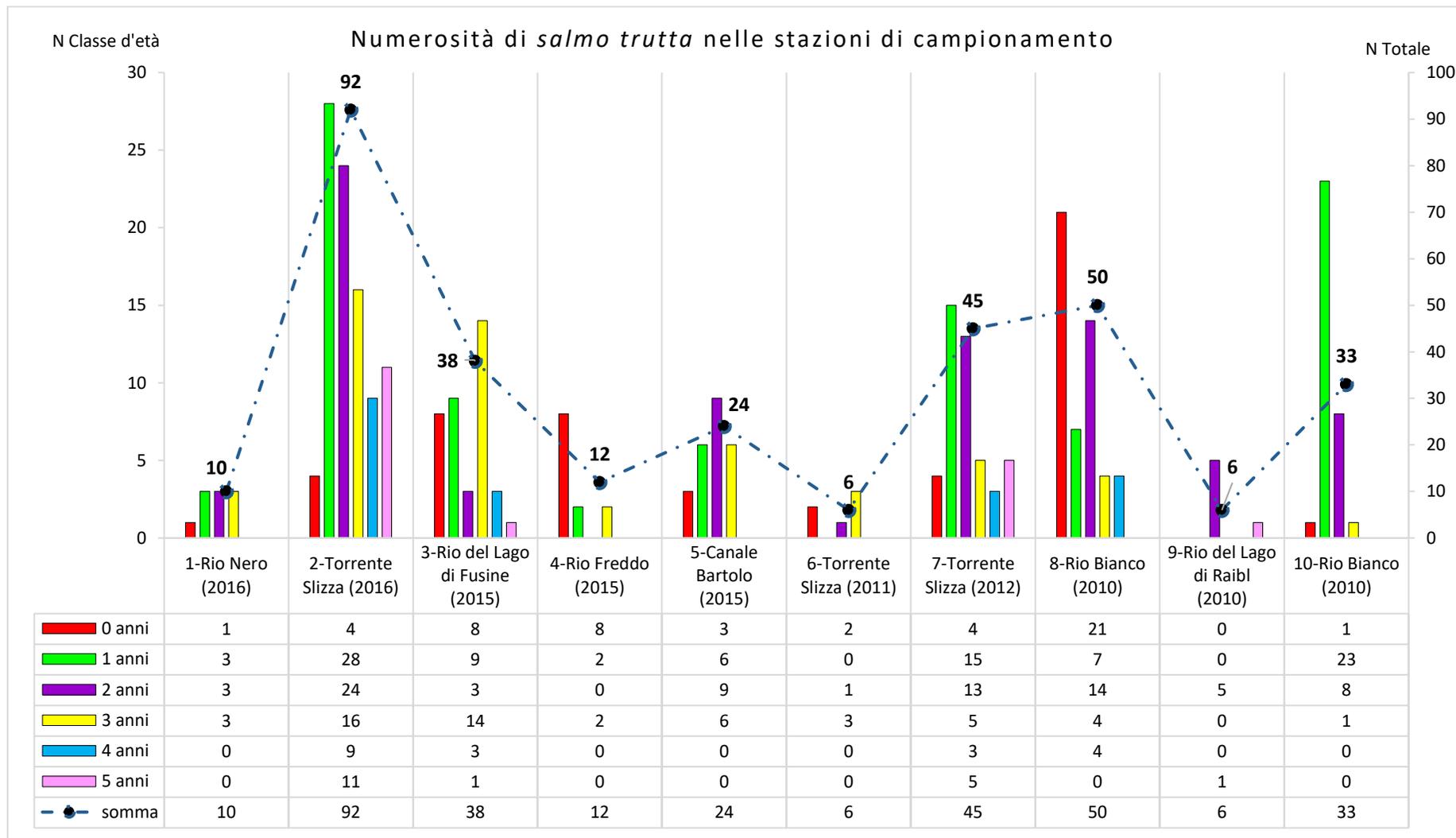


Fig. 5-14: Numerosità di *Salmo trutta* rilevata in ciascuna stazione e suddivisa per classe d'età (asse dx) e totale (asse sx)

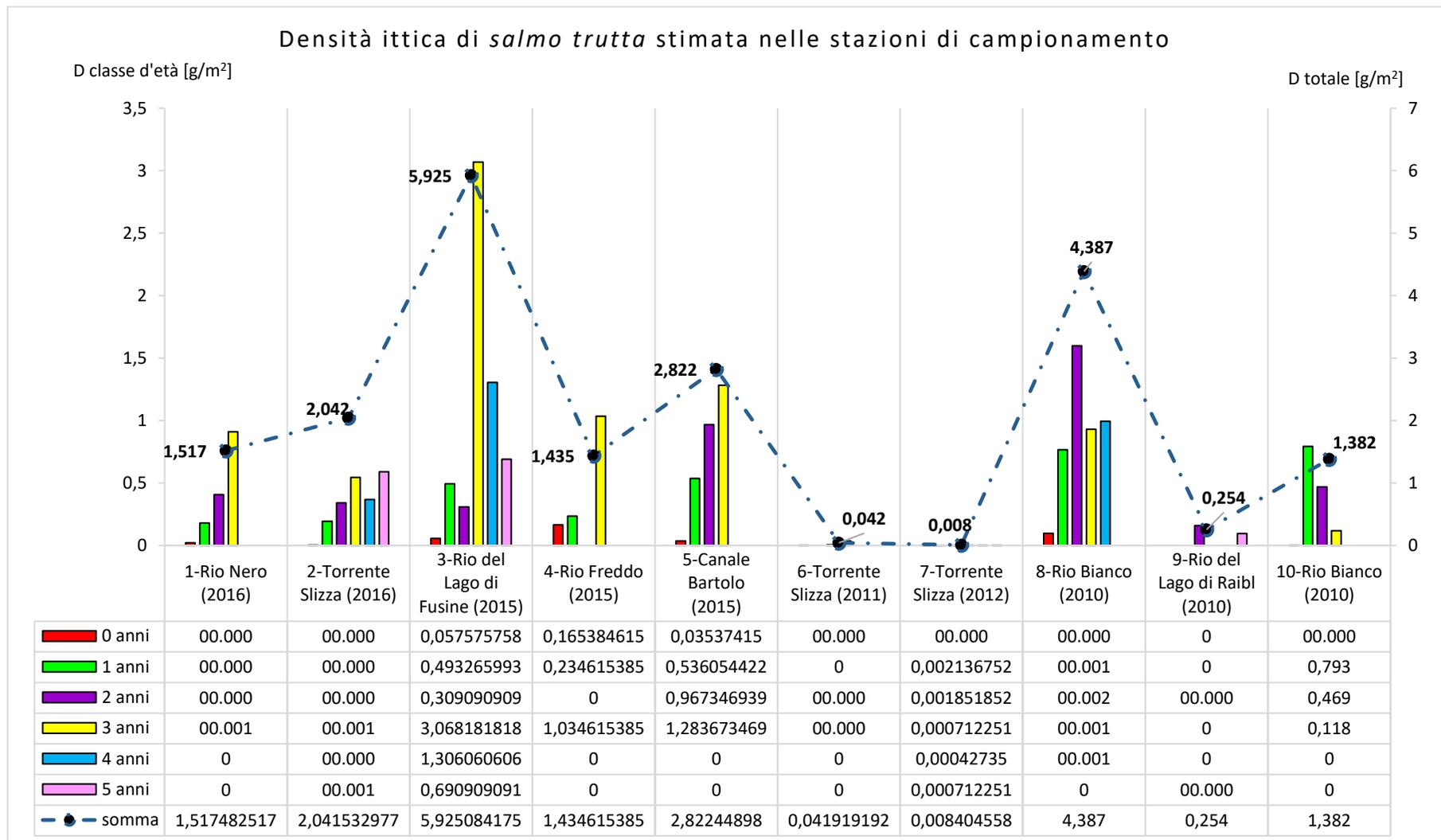


Fig. 5-15: Densità ittica di *Salmo trutta* stimata su ciascuna stazione e suddivisa per classe d'età (asse dx) e totale (asse sx).

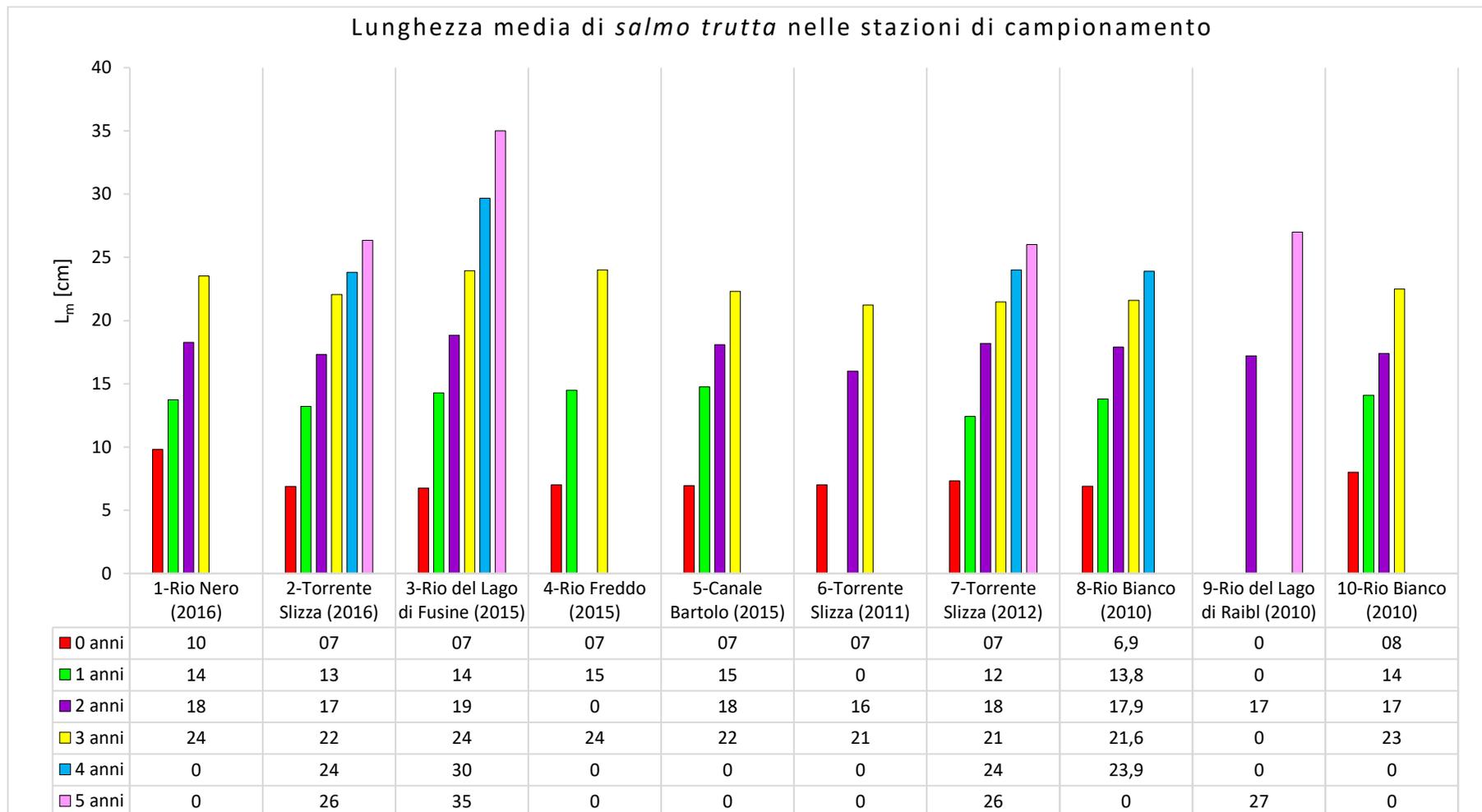


Fig. 5-16: Lunghezza media dei *Salmo trutta* rilevata in ciascuna stazione e suddivisa per classe d'età

Dal grafico relativo alla numerosità (Fig.5-14) si può notare che, per quanto riguarda la specie *Salmo trutta*:

- le stazioni con il maggior numero di esemplari campionati sono quelle sul torrente Slizza con la solita eccezione della stazione 6 sita a Coccau. Altri valori elevati si trovano sul bacino del Rio bianco con ovvia eccezione del Rio Nero che non è asta principale. Valori ancora minori sono rilevati sul Canale Bartolo mentre le aste più “povere” risultano il Rio Freddo e quello del lago del Predil.

Si può quindi affermare che le aste con numerosità più elevata di trota fario sono quelle della porzione settentrionale del bacino e più precisamente quelle facenti parte dei bacini in destra Slizza rispetto a quelli in sinistra;

- concentrandosi sull’asta principale del bacino, ovvero il torrente Slizza, è interessante osservare una progressiva decrescita della numerosità dei soggetti campionati che riguarda in particolar modo le fasce già sessualmente mature.

In figura seguente (Fig.5-17) si geo-riferiscono tali dati rispetto alla distribuzione degli sbarramenti presenti sul torrente principale notando che la riduzione di cui si è appena accennato trova sicuramente giustificazione nella presenza degli sbarramenti dei quali solo gli ultimi verso valle 4 sono dotati di passaggio per pesci.

Quindi, anticipando che l’immissione esterna di esemplari di trota è stata sostanzialmente omogenea lungo l’asta, sembra evidente che gli ostacoli provocano una netta frammentazione delle popolazioni presenti che penalizza in modo particolare quelle risiedenti nei tratti più vallivi del torrente che trovano maggiori impedimenti nella risalita verso monte risultando anche più facilmente suscettibili alle attività di pesca;

- nella maggioranza delle stazioni la numerosità più elevata si riscontra nelle classi d’età 0 ÷ 1 anni mentre per età elevate gli esemplari campionati sono più ridotti. Anche in tal senso i bacini meridionali e quelli in sinistra Slizza evidenziano una mancanza sistematica delle classi d’età più anziane nei campionamenti.

Al contrario una particolarità si riscontra nella stazione sul Rio del Lago di Raibl che è l’unica in cui non sono stati campionati esemplari di classe d’età compresa tra 0 ÷ 1 anni.

Questo dato è significativo se si considera l’elevata presenza di habitat riproduttivo in quest’asta e nei suoi affluenti che teoricamente dovrebbe portare al risultato opposto.

Le cause sono ovviamente ignote ma si può ipotizzare che i pesci vadano a riprodursi e poi restano negli affluenti minori dove non si hanno campionamenti oppure più probabilmente, visto che le condizioni trofiche sarebbero comunque migliori nell’asta del Rio del Lago rispetto ai suoi affluenti, che le trote non riescano a riprodursi adeguatamente in questa zona forse a causa di una inadeguata continuità fluviale.

Per quanto riguarda la densità ittica (Fig.5-15), essendo questa espressa in g/m^2 è importante anzitutto ricordare che la massa media delle trote risultava (a parità di età) circa costante in tutte le stazioni eccetto quella del Rio del Lago di Fusine dove i pesci risultano sistematicamente più “pesanti”.

Quanto appena detto fa sì che le differenze tra gli andamenti di Fig.5-14 e Fig.5-15, sempre ad eccezione del Rio del Lago, siano essenzialmente dovute a quelle tra le superficie dei bacini sottesi da cui dipende la densità. Pertanto si osserva che:

- per quanto riguarda le stazioni a monte del torrente Slizza, sul Rio del Lago di Raibl il valore di densità risulta nuovamente minimo mentre sul Rio Freddo i valori risultano più confrontabili con le altre stazioni ma comunque non elevati;
- sul torrente Slizza, come ci si aspettava considerando le dimensioni del bacino, i valori di densità non sono più massimi come per la numerosità. Essa infatti risulta superiore all’unità solamente nella stazione 2 dove infatti la numerosità era massima mentre decade nelle stazioni poste più a valle;
- come ci si aspettava, i valori massimi di densità ittica si riscontrano nelle stazioni poste in destra Slizza nelle quali il picco assoluto si ottiene sulla stazione del Rio del Lago di Fusine dove, tolta la stazione 8 sul Rio Bianco, si nota una densità almeno doppia rispetto a tutte le altre stazioni. Coerentemente coi risultati di numerosità, la densità registrata nei sottobacini in destra risulta più elevata rispetto a quella dei bacini di sinistra, infatti sulla stazione del Canale Bartolo si ha un valore intermedio tra quelli dello Slizza e quelli dei suoi affluenti di destra.

Sul Rio Nero e sulla stazione 10 del Rio Bianco si hanno valori più modesti ma comunque confrontabili con le altre stazioni;

- contrariamente alla numerosità, tutti i picchi di densità, nelle stazioni in cui questa assume valori significativi, sono relativi alla classe d'età di 3 anni. Questa differenza dipende dal fatto che la densità è espressa in g/m² e permetta comunque di affermare che nel bacino dello Slizza, la maggioranza della biomassa di trota fario campionata è costituita da elementi di 3 anni sebbene i sono più numerosi quelli più giovani;

Infine si osserva che la lunghezza minima degli esemplari sarà quella degli esemplari appartenenti alla classe d'età più giovane campionati nel bacino del torrente Slizza è circa costante e pari a 7 cm; stessa omogeneità di dimensione nelle stazioni si riscontra per qualunque classe d'età fissata.

Unica eccezione si trova per la stazione 3 sul Rio del Lago di Fusine in cui le dimensioni sono sistematicamente più elevate e si differenziano da tutte le altre stazioni; la stessa conclusione si troverebbe anche elaborando i dati di biomassa media.

Fig.5-17: Numero totale di esemplari campionati nel torrente Slizza e sbarramenti presenti.

5.2.2. Elaborazione dei dati ittici di immissione per ripopolamento.

Si ricorda nuovamente che i dati ittici che verranno elaborati sono quelli resi gentilmente disponibili dall'Ente Tutela Patrimonio Ittico del Friuli Venezia Giulia e relativi alle immissioni per ripopolamento della fauna ittica svolti dall'ente stesso nelle aste e nei laghi del bacino del torrente Slizza nel periodo 2000 ÷ 2016.

Prima di procedere all'analisi dei dati vale la pena ricordare che l'ETPI è un'organizzazione appartenente alla Regione Friuli Venezia Giulia peculiare per la pesca in acque interne in merito alla quale svolge diverse funzioni; tra queste è necessario rilevare, in quanto utili nell'elaborato, le seguenti:

- progettazione delle immissioni per ripopolamento;
- attività scientifica come ad esempio l'individuazione dell'habitat riproduttivo della trota fario;
- attività decisionale come ad esempio l'imposizione di passaggi per pesci in progetti di opere di derivazione/sbarramento presentate in regione. A tal proposito si sottolinea che l'ETPI non svolge attività di monitoraggio sull'effettiva efficacia delle scale;

Per quanto riguarda le operazioni di immissione di fauna ittica, queste vengono svolte dall'ETPI in ciascun collegio di pesca in tratti precisi del bacino.

Si precisa che il bacino del torrente Slizza è interamente appartenente al collegio di Pontebba (n.8) nel quale, per quanto detto ad inizio capitolo, essendo unico tributario del Danubio in un collegio altrimenti tutto tributario dell'Adriatico, sarà una particolarità anche per quanto riguarda la gestione della fauna ittica; infatti nel bacino dello Slizza il ripopolamento della fauna autoctona coinvolge la trota fario mentre nelle restanti aste del collegio coinvolge la marmorata.

In figura seguente si riporta la posizione del bacino dello Slizza nel collegio di Pontebba e le zone di ripopolamento segnalate dall'ETPI nel catalogo *Irdat* (Fig.5-18); queste sono tratti di corso d'acqua in cui la pesca sportiva è vietata per consentire il ripopolamento e come si nota dalla figura sono due:

- una su un tratto di circa 355 m sul Rio Molino in località Rutte Piccolo dal ponte Casa De Bortoli verso monte;
- l'altra su un tratto di circa 1.7 km sul Rio del lago di Fusine dalla zona industriale dell'acciaieria Weissensfels fino alla briglia industria ex Weisscam;

Si nota quindi che solo una zona interessa un corso d'acqua principale, quella del Rio del Lago, e ricade in un habitat consono alla riproduzione della trota fario.

Queste zone si ritrovano all'interno dei dati forniti dall'*ETPI* dove ovviamente a loro se ne aggiungono molte altre, oggetto di immissioni ma non necessariamente volte al ripopolamento della specie ma per le quali non sono disponibili i dati di lunghezza e di coordinata.

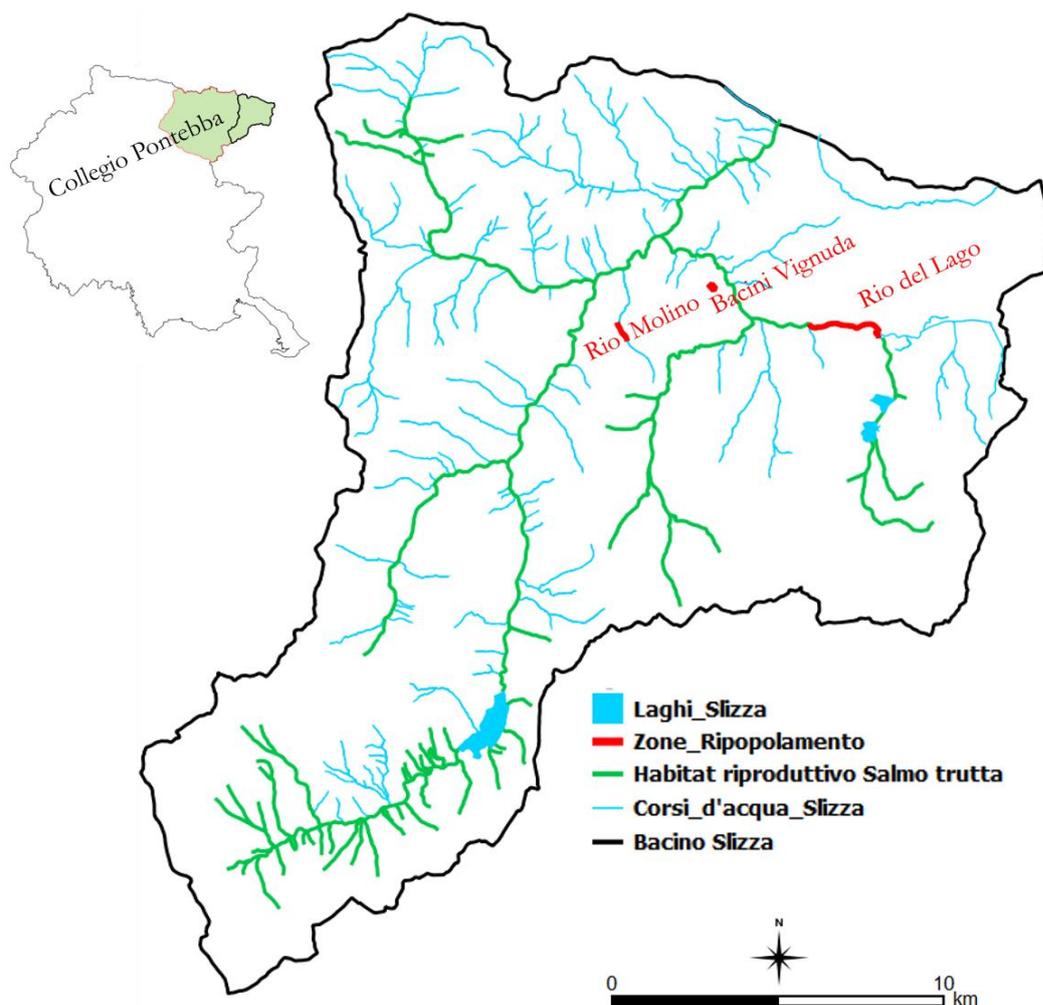


Fig.5-18: Zone di ripopolamento all'interno del bacino idrografico del torrente Slizza (da ETPI del FVG)

Si riportano in allegato (Appendice G) i dati ittici grezzi relativi all'intero periodo 2000 ÷ 2016 dove si anticipa che saranno di maggior interesse quelli compresi tra il 2005 ed il 2016 essendo il campionamento più datato del 2010 e la classe d'età massima campionata di 5 anni; per ogni immissione sono importanti le seguenti informazioni:

- Data;
- Asta fluviale, località;
- regime di pesca a cui è soggetta l'area: l'Ente Tutela Pesca che infatti, mediante apposita cartografia, individua su ciascun reticolo di ogni collegio le zone di ripopolamento, tratti no kill, tratti a regime particolare di pesca, ecc...;
- Specie immessa e luogo di provenienza;
- Pezzatura della specie immessa: uova Vibert ossia uova posizionate in appositi contenitori detti scatola Vibert, avannotti ossia piccoli pesci appena usciti dallo stadio larvale, novellame ossia piccoli pesci nelle prime fasi successive allo stadio larvale o adulto;
- Quantità immessa (in unità o kg);

Semplicemente osservando le località di immissione si nota come queste, sebbene puntuali, ricoprono interamente le aste in cui è presente l'habitat riproduttivo della specie.

Prima di qualunque elaborazione è importante caratterizzare il set di dati dal 2000 al 2016 osservando che in questo intervallo di tempo sono state eseguite 152 operazioni di immissione delle quali:

- in termini di numerosità 22 sono state svolte nei 4 anni precedenti il 2005 mentre, quasi con un raddoppio annuo, la gran parte (130) sono state svolte nell'ultima decade. Il grafico relativo all'andamento dei ripopolamenti annui viene riportato in figura (Fig.5-19). La figura evidenzia un netto salto con incremento di immissioni dal 2006 con un picco nel 2011. Da confronto con Fig.5-15 è interessante notare i picchi di densità ittica nei campionamenti del 2015;
- l'unico ripopolamento di Salmerino alpino è stato svolto nel 2001 sul lago inferiore di Fusine nel quale sono stati introdotti 200 elementi adulti provenienti Centro Ittico in località Masareit di Somplago. Tutte le restanti immissioni sono di trota fario per cui nel proseguito si ritiene sottointeso il riferimento esclusivamente a tale specie;
- in base alla loro frequenza, le immissioni possono essere suddivise come in figura (Fig.5-20). Da questa si nota che il 33% delle immissioni è stato eseguito nei laghi circa in maniera equa tra quelli di Fusine e di Raibl mentre la restante parte lungo 15 corsi d'acqua superficiali. Come preannunciato, oltre a ritrovare le due zone viste in Fig.5-16, si nota come la maggioranza delle immissioni, non necessariamente a scopo di ripopolamento, avvengano nelle aste principali del bacino precisamente le stesse in cui sono stati eseguiti i campionamenti ittici e quindi anche quelle in cui sussiste l'habitat riproduttivo. Unica eccezione in tal senso sono le immissioni svolte sul Canale dei Carri;
- riportando la distribuzione percentuale, calcolata sulla numerosità, delle pezzature utilizzate (Fig.5-21) si nota che quasi metà dei ripopolamenti sono stati eseguiti mediante semina di avannotti, un quarto con immissione di novellame, un 20% mediante rilascio di esemplari adulti ed in minima parte (7%) posizionando uova in scatole Vibert. Tale dato è significativo perché, oltre a giustificare il fatto che la maggioranza dei campionamenti coinvolgevano esemplari giovani (si veda Fig.5-13), suggerisce che le per il dimensionamento dei passaggi saranno da considerare non avrebbe senso usare le lunghezze delle classi d'età più avanzate;

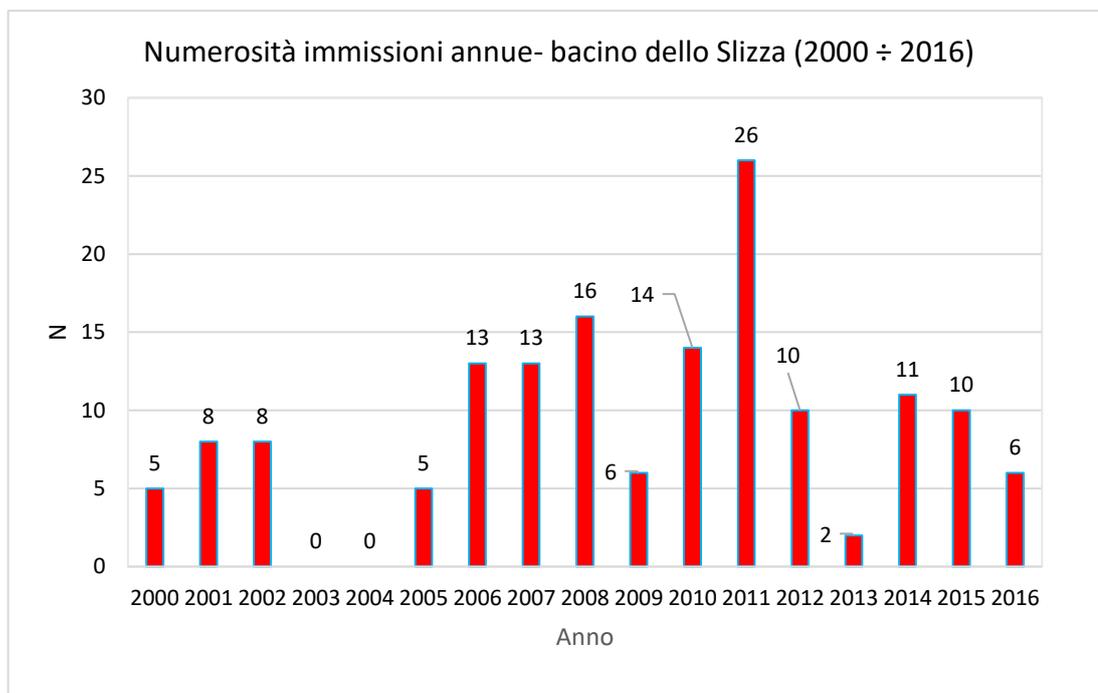


Fig.5-19: Andamento delle immissioni annue eseguite nel bacino del torrente Slizza tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

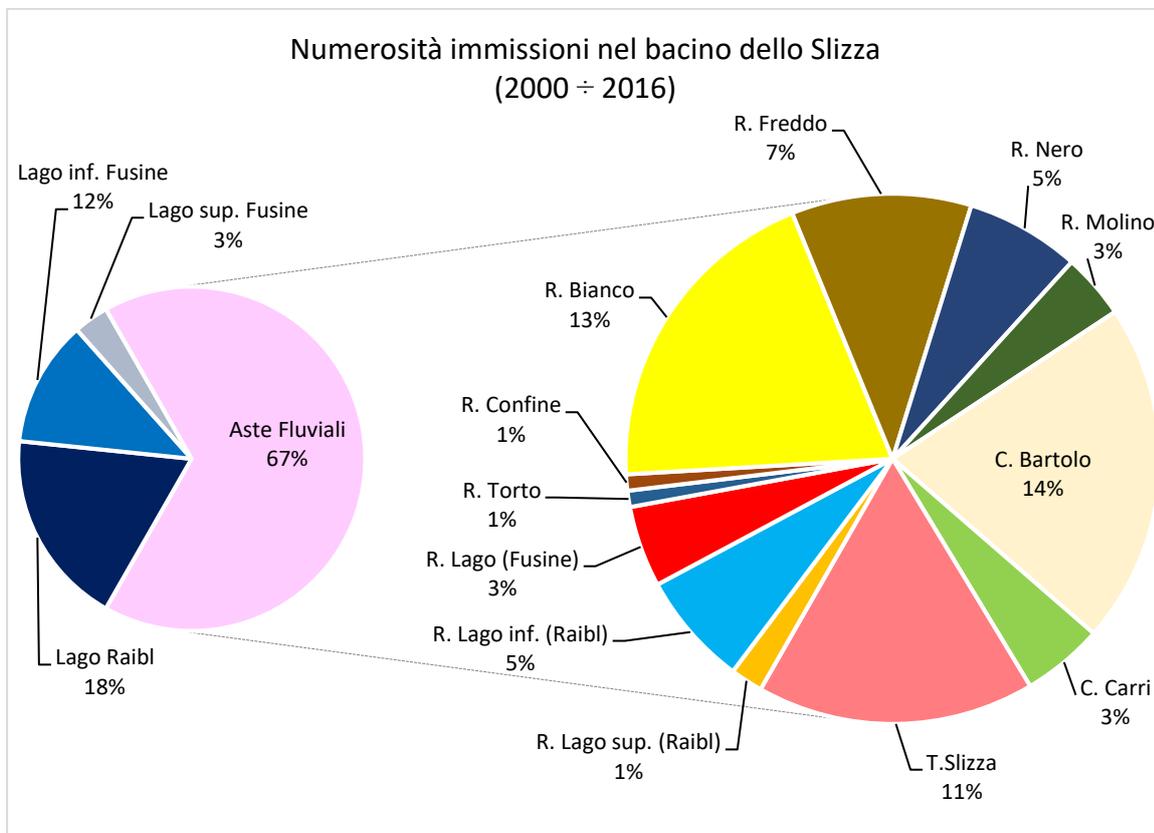


Fig.5-20: Distribuzione percentuale (sulla numerosità) delle immissioni eseguite nel bacino del torrente Slizza tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

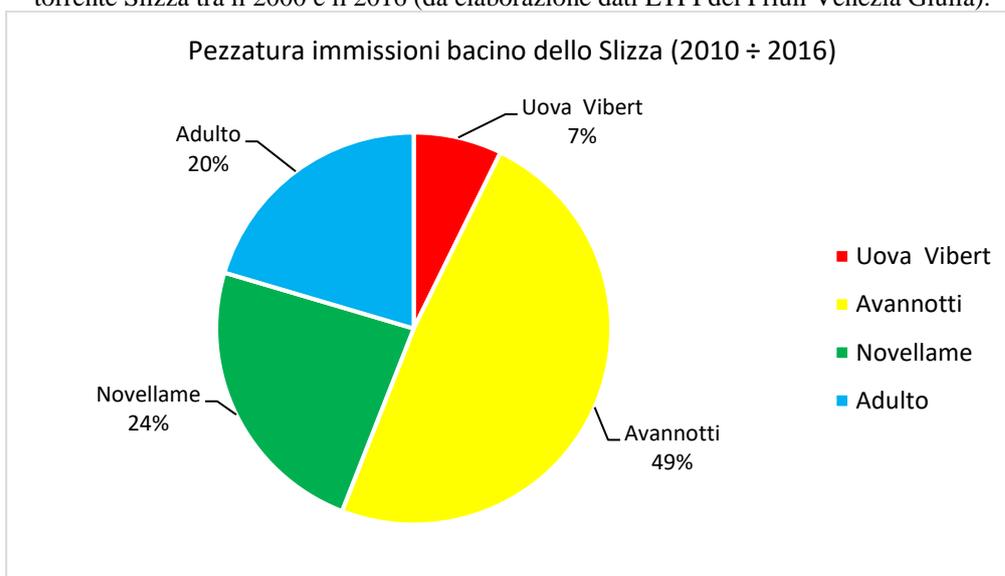


Fig.5-21: Distribuzione percentuale (sulla numerosità) della pezzatura usata per le immissioni eseguite nel bacino del torrente Slizza tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

Considerando conclusa la descrizione del campione di dati si procede con l'elaborazione quantitativa dei suoi dati. Al fine di svolgere un confronto con i risultati del campionamento ittico ottenuti nel paragrafo precedente e per avere comunque delle informazioni quantitative sui pesci,

indipendentemente dalla loro origine, nelle aste del reticolo, si decide anzitutto di riportare per ciascun corpo idrico eccetto i Rii Torto e Confine ripopolati una sola volta, l'andamento della fauna ittica immessa.

Come già detto, su una stessa asta, questa quantità può essere espressa in numero di elementi o in kg ed inoltre può essere riferita a diverse pezzature della trota; per cui, con l'obiettivo di compattare comunque tutto in un unico diagramma per ciascun corpo idrico, pezzatura ed unità di misura saranno indicate sulle direttamente sulle etichette dei valori con le seguenti abbreviazioni:

- *n* o *kg* rispettivamente per unità o kilogrammi. Si precisa che questa distinzione sarà presente esclusivamente nei diagrammi relativi ai laghi in quanto nei corsi d'acqua tutti i ripopolamenti sono espressi in termini di unità immesse;
- *UV*: Uova Vibiart, *AV*: Avannotti, *NV*: Novellame, *AD*: Adulto;

Per prima cosa si riportano i suddetti diagrammi relativi alle immissioni sul Rio del Lago del Predil e sul Rio Freddo (Fig.5-22 e Fig.5-23); che da un previo confronto con gli altri grafici che verranno riportati successivamente mostrano che:

- in queste aste le immissioni sono state abbastanza frequenti sebbene con maggiore regolarità nel rio Freddo e di entità sicuramente non trascurabile;
- sul rio del Lago di Raibl le immissioni sono state svolte con un trend decrescente sino al 2008, sono state interrotte per 4 anni ed infine nel 2012 è stata eseguita la più grande semina di avannotti (30000) di tutto il bacino nel periodo in esame. Ricordando dal paragrafo precedente che il campionamento sul Rio del Lago di Raibl svolto nel 2010 era stato l'unico ad evidenziare la mancanza di giovani trote (0-1 anni), probabilmente questa massiccia semina è stata una contromisura a seguito della quale non sono state più eseguite immissioni.
- sul rio Freddo le immissioni, inizialmente molto elevate sono proseguite con forte trend decrescente sino al 2011;

Tendendo conto di quanto appena osservato e di quanto notato nel paragrafo precedente (si veda Fig.5-13) dove le stazioni site su queste aste mostravano una popolazione ridotta particolarmente nelle classi d'età più elevate, si può ipotizzare che, nonostante le ingenti semine passate, vi sia in generale minore presenza di trote nel settore meridionale del bacino ed una loro maggiore difficoltà a raggiungere età elevate ma che in ogni caso sono necessari minori interventi esterni.

Vi era inoltre il particolare della mancanza di esemplari giovani sul Rio del Lago del Predil; fatto che diventa ancor più significativo se si considera che, oltre a quelle diagrammate, altre immissioni vengono regolarmente eseguite sul lago del Predil e che, come visto nel paragrafo precedente, gran parte delle aste del bacino del Rio del Lago, anche se soprattutto a monte del lago, risultano ambiente adatto alla riproduzione della trota fario. Queste situazione sembra dire che almeno nella porzione meridionale potrebbero essere necessari dei ripristini affinché la fauna ittica dipenda ancor meno dalle immissioni per la sua sopravvivenza.

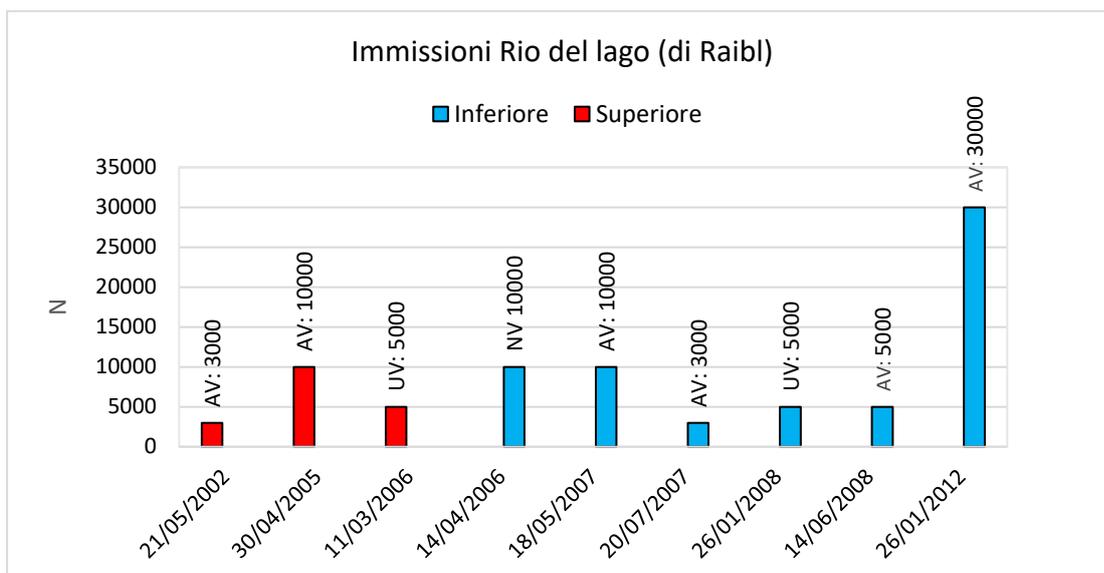


Fig.5-22: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Rio del Lago (di Raibl) tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

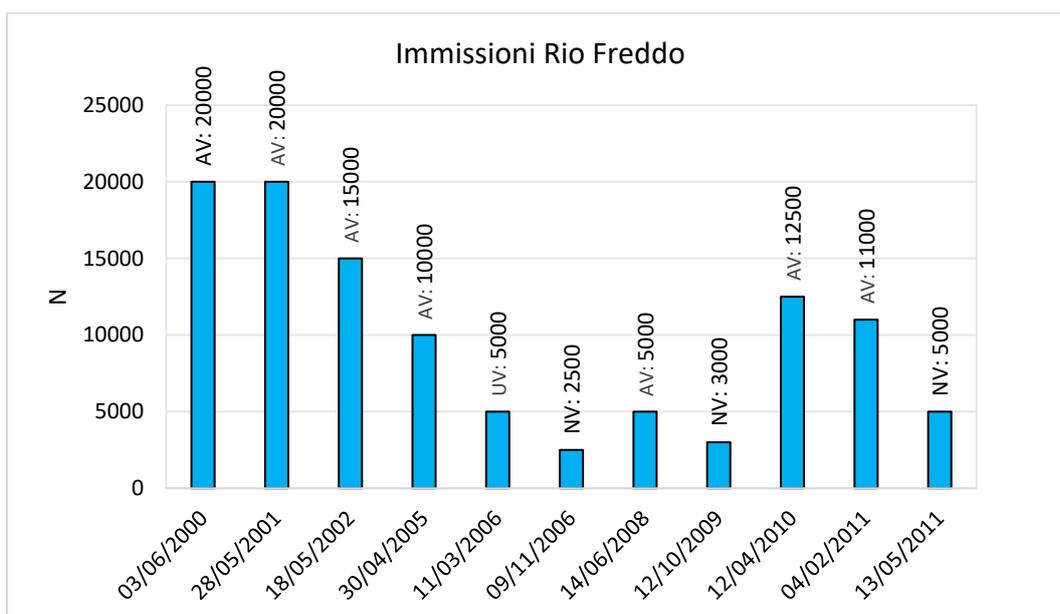


Fig.5-23: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Rio del Lago (di Raibl) tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

Successivamente sono stati realizzati i diagrammi per i maggiori affluenti di sinistra del torrente Slizza, ossia il Canale Bartolo (Fig.5-24) ed il Rio dei Carri (Fig.5-25).

In questo caso si nota come, negli anni, le immissioni nel Canale Bartolo siano, rispetto a quelle del Rio dei Carri, state molto frequenti e regolari con picchi di semina di avannotti e novellame nel 2011 e nel 2012 ed un trend globalmente crescente; anche in questo caso i dati di immissione sembrano correlati con quelli del campionamento in quanto essi mostravano una presenza discreta di trota nel canale con il picco in corrispondenza della classe di 3 anni d'età. Considerando che il rilievo era del 2015 una quota di queste potrebbe tranquillamente essere dovuta alle massicce immissioni del 2012.

Per quanto riguarda il Rio dei Carri è interessante notare che le semine, sebbene confrontabili come entità con quelle degli altri corsi d'acqua, siano molto più discontinue e si siano fermate al 2011.

Non avendo dati campionari sull'asta non si possono avanzare ipotesi ma si deve considerare il fatto che sul Rio dei Carri non vi è presenza di habitat riproduttivo della trota fario, motivo che potrebbe aver contribuito alla riduzione di immissioni.

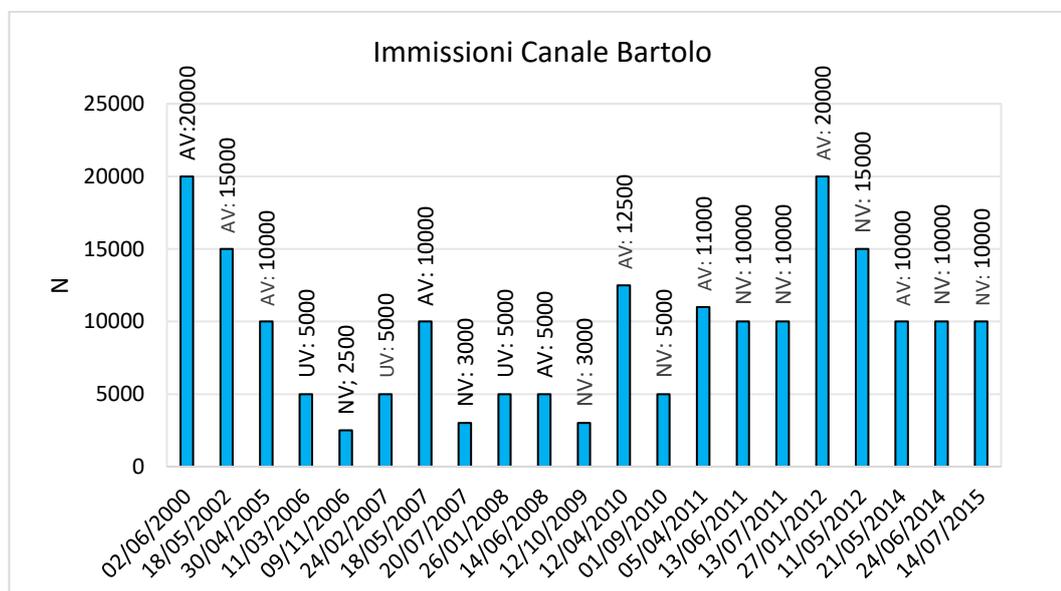


Fig.5-24: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Canale Bartolo tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

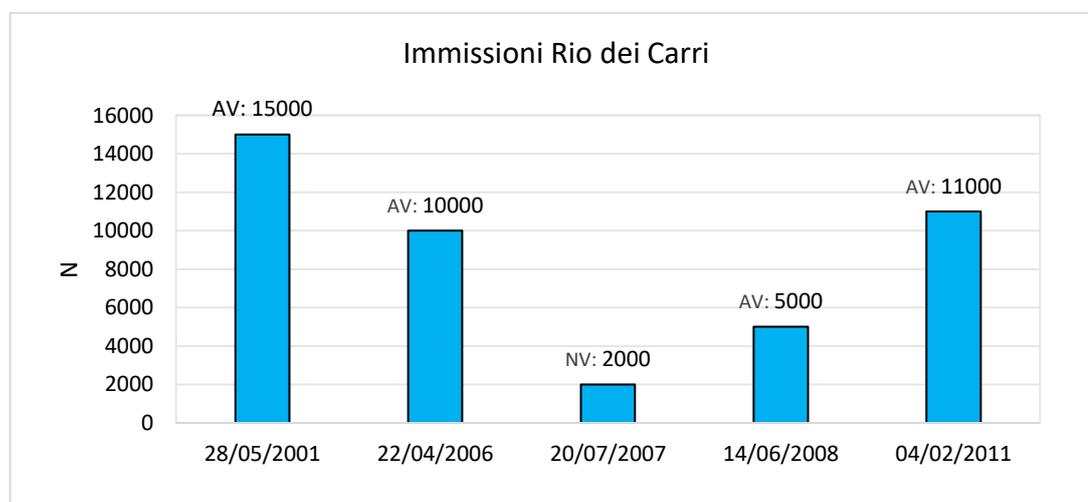


Fig.5-25: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Rio dei Carri tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

Per quanto riguarda gli affluenti in sponda destra si riportano i grafici relativi al Rio Bianco, al Rio del Lago di Fusine, al Rio Nero ed al Rio Molino (Fig.5-26, Fig.5-27, Fig.5-28 e Fig.5-29) dai quali si osserva che:

- Sul Rio Bianco le immissioni hanno praticamente la stessa frequenza di quelle realizzate nel canale Bartolo rispetto alle quali, tuttavia, risultano di entità leggermente inferiore e possedere un trend decrescente; queste differenze possono essere dovute soprattutto alle immissioni degli ultimi anni che nel rio Bianco sono state di entità contenuta. Si ricorda che anche nel campionamento le due stazioni mostravano una numerosità totale ed una densità ittica confrontabili sebbene entrambe a favore del Rio Bianco ma una differente

distribuzione di età; quest'ultimo fatto è imputabile alla diversa data di campionamento in quanto sul Rio del lago è del 2010 anziché del 2015 e visto che le maggiori differenze tra i due andamenti di immissione si manifestano proprio in quell'intervallo di anni (2011 – 2015);

- sul Rio del Lago (di Fusine) si ritrovano nuovamente immissioni più discontinue e con un notevole calo di fauna immessa, esclusivamente novellame, negli ultimi anni del periodo considerato (2010 ÷ 2016).

Considerando i buoni risultati osservati dal campionamento sia in termini numerici, di densità e di fascia di età e considerando anche le caratteristiche idrologiche dell'asta più volte citate, sembrerebbe che il Rio del Lago possa essere considerata sino ad ora l'asta in cui vi è la minore dipendenza dalle immissioni di fauna ittica;

- sul Rio Nero le immissioni sono sicuramente molto elevate rispetto a quelle sul Rio del Lago, tuttavia i campionamenti evidenziavano una scarsa numerosità e soprattutto assenza delle classi d'età più anziane.

Questo fatto, considerando le date di campionamento (2016) e di immissione (si veda Fig.5-26), potrebbe indicare una fatica alla sopravvivenza della specie nell'asta;

- sul Rio Molino è già stato detto che le immissioni sono realizzate dall'ETPI proprio per garantirne il ripopolamento.

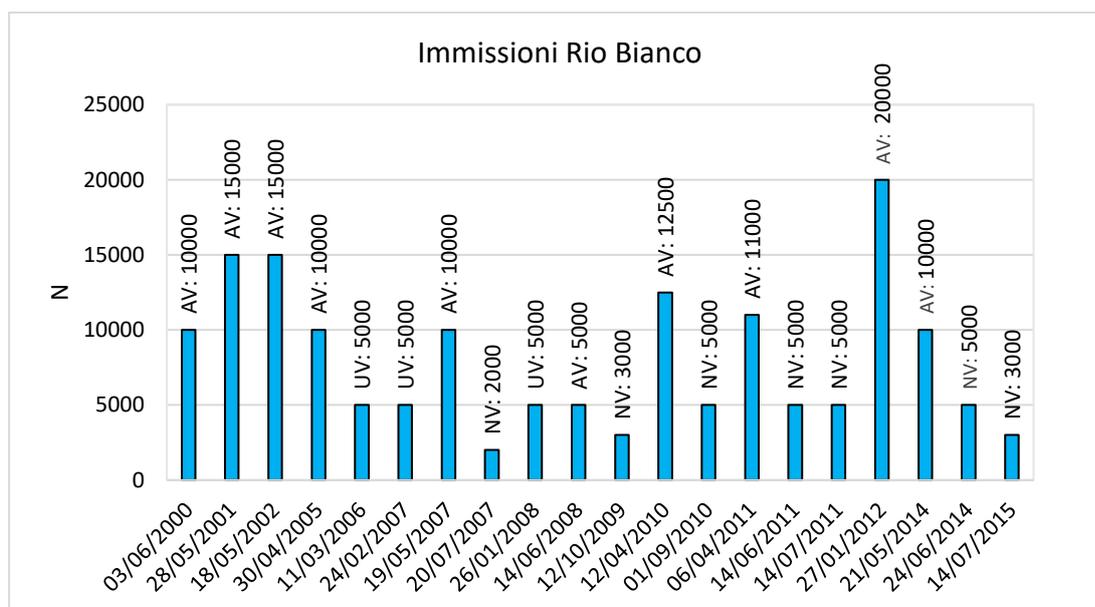


Fig.5-26: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Rio Bianco tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

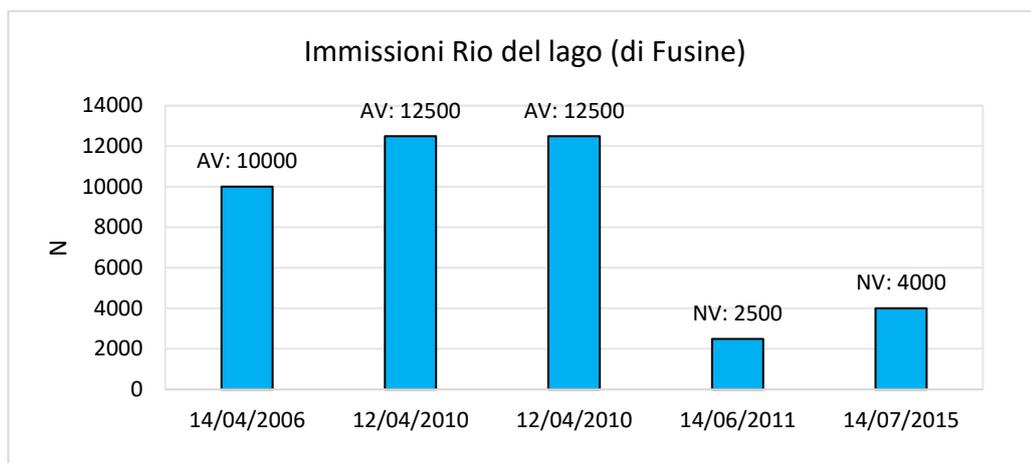


Fig.5-27: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Rio del Lago tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

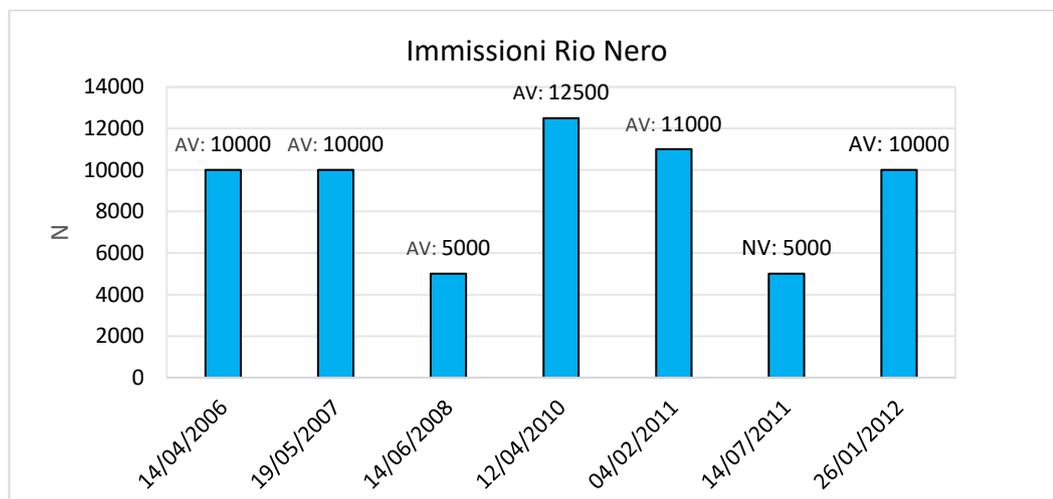


Fig.5-28: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Rio Nero tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

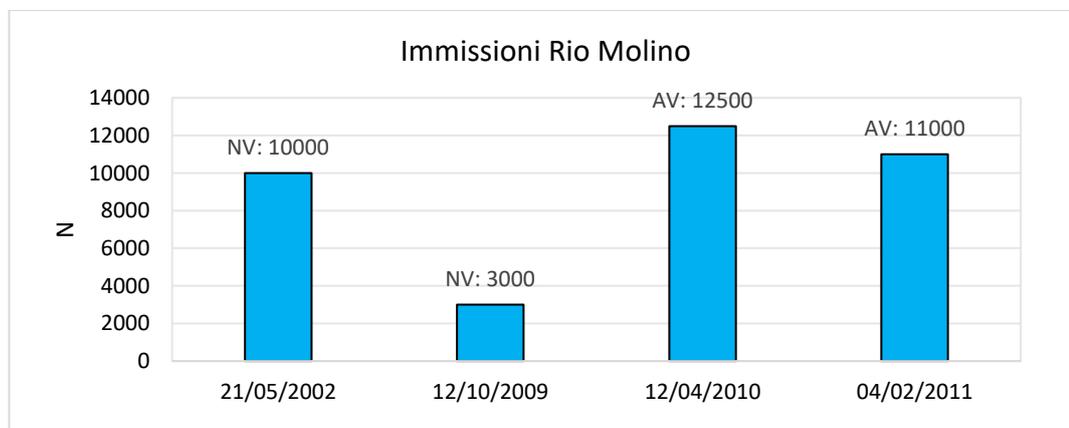


Fig.5-29: Andamento delle immissioni ittiche svolte nel Rio Molino tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

Infine si riporta il diagramma delle immissioni nel torrente Slizza (Fig.5-30) nel quale si ritrova un andamento estremamente simile a quello visto sul Canale Bartolo quindi con immissioni ingenti e frequenti di avannotti e novellame con picco nel 2012.

Ciò che è importante sottolineare e che non è riportato nei grafici ma è verificato nei dati in Appendice G è che tutte le immissioni sullo Slizza avvengono su tratti precedenti l'abitato di Tarvisio; questo anzitutto potrebbe indicare nuovamente che non vi è molta fauna proveniente nel torrente dalla porzione meridionale del bacino.

Inoltre questo fatto risulta interessante anche se confrontato coi risultati del campionamento ittico che evidenziavano ingenti quantità di trote nelle stazioni 2 e 7 collocate nel tratto meridionale del bacino, vicino alle immissioni ed una scarsa presenza nella stazione 6 che si trova nel tratto settentrionale in località Coccau.

Quindi sembrerebbe che, nonostante le ingenti immissioni, la fauna ittiche del torrente Slizza risulti concentrata soprattutto nel suo tratto meridionale a valle della confluenza tra Rio Freddo e Rio del Lago, senza tuttavia riuscire a risalire gli affluenti meridionali o a raggiungere in larga parte il suo tratto più vallivo nel quale infatti sei era già ipotizzato ad inizio paragrafo un isolamento delle popolazioni che ne provoca maggiori discontinuità nello spettro di età campionato.

Questa apparente decimazione della popolazione, che si rispecchia anche nei valori non elevati di densità ittica stimati, sarà sicuramente in parte dovuta all'azione della pesca che si concentra prevalentemente, come confermato anche dai pescatori locali, lungo il torrente/asta principale ma anche dalla notevole presenza di ostacoli/derivazioni che vi sorgono.

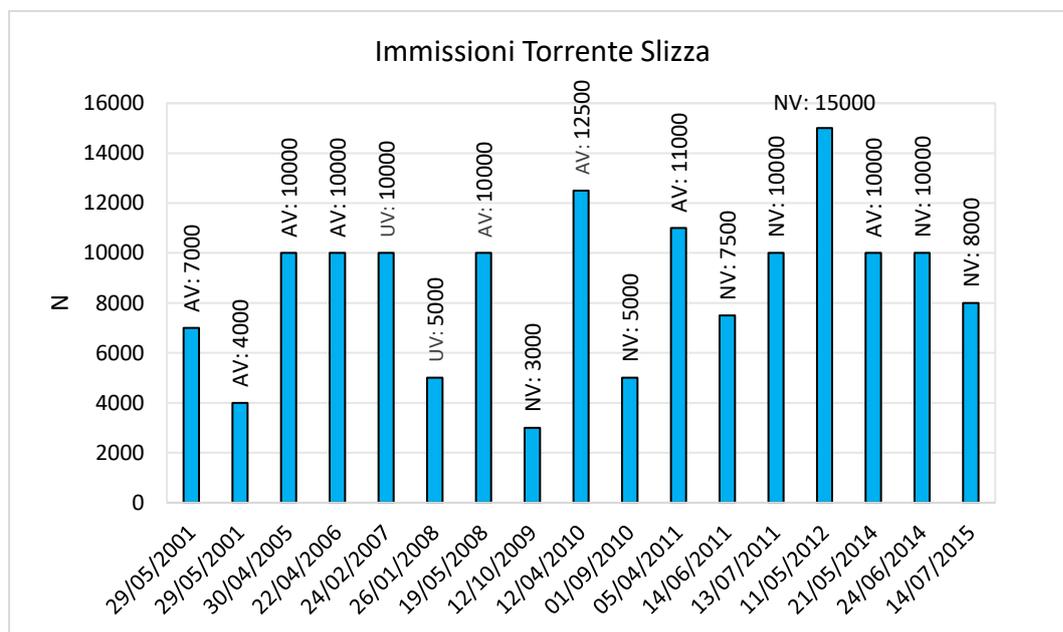


Fig.5-30: Andamento delle immissioni ittiche svolte sul torrente Slizza tra il 2000 e il 2016 (da elaborazione dati ETPI del Friuli Venezia Giulia).

In conclusione, combinando i risultati dei dati ittici relativi alle immissioni e quelli del campionamento, considerando le frequenze ed i trend e le frequenze di immissione, considerando le distribuzioni di densità ittica e le classi d'età associate, si può dire che la presenza di fauna si è riscontrata in tutte le aste principali che sono anche zona di riproduzione; tuttavia, come accaduto anche per la pluviometria, vi è una differenza sostanziale tra la porzione meridionale e quella settentrionale del bacino.

Si nota infatti che

- nonostante le immissioni, le maggiori condizioni di maggiore sofferenza in termini di densità, di mancanza di classi d'età e di numerosità si riscontrano sugli affluenti meridionali nonostante l'elevata presenza di habitat riproduttivo del quale sembra che neanche il pesce immesso riesca ad usufruire a pieno a causa della mancanza di *gene flow* proveniente da valle;
- la zona più popolosa del bacino si riscontra nel bacino del rio Bianco ed in particolare lungo l'asta del Rio del Lago dove comunque le immissioni sono regolari sebbene con trend decrescente. Sarebbe quindi questa la zona, identificabile con la conca di Fusine, in cui vi è una migliore risposta alle immissioni ed in cui le popolazioni ittiche trovano condizioni migliori in quanto si trova una buona densità ittica di età coerente con le immissioni;
- il canale Bartolo, anch'esso alimentato con immissioni regolari e crescenti, evidenzia una situazione simile ma di entità inferiore a quella gli affluenti in destra – Slizza;

In questo quadro fortemente disomogeneo degli affluenti, il torrente Slizza, a seguito di immissioni regolari, massicce ma anch'esse non omogenee sull'asta, fornisce dei risultati ittici altrettanto disomogenei con discontinuità importanti tra le stazioni che evidenziano un generale peggioramento spostandosi verso valle.

Tra le cause vi sono sicuramente il fatto che, essendo asta principale, il torrente risente maggiormente dell'impatto antropico diretto/indiretto sugli affluenti e della pesca.

Come si è visto in quest'ultimo paragrafo, l'indagine sui dati ittici ha inevitabilmente, per questioni di numerosità, portato a concentrare l'attenzione sulla trota fario, lasciando in secondo piano in quanto statisticamente trascurabili le altre specie delle quali si è comunque appurata la presenza nel bacino.

Inoltre, sempre in questi paragrafi, è stato già accennato che la trota fario sarà di fatto l'unica specie considerata nei successivi capitoli e quindi utilizzata come dimensionante per il progetto dei passaggi per i pesci.

Questa scelta, oltre che dettata dagli appena citati motivi statistici, è anche dovuta alle caratteristiche biologiche della specie, che risulta essere quella che, in maniera molto superiore alle altre, necessita e quindi dipende dalla presenza dei passaggi per pesci.

Quindi, per dimostrare quanto appena detto, come accennato ad inizio capitolo, nel paragrafo seguente si cercherà di descrivere brevemente le tre specie ittiche sicuramente presenti, in quanto campionate, nel bacino del torrente Slizza.

5.3. Descrizione delle specie ittiche presenti nel bacino idrografico del torrente Slizza.

In questo paragrafo si illustrano le caratteristiche principali di ciascuna delle specie di cui si è appurata la presenza nel bacino del torrente Slizza soffermandosi soprattutto sugli aspetti rilevanti ai fini del presente elaborato che in parte sono già stati sottolineati nei paragrafi precedenti quali la lunghezza, l'habitat ideale ed il comportamento migratorio.

A proposito di quest'ultimo, con il termine migrazione si intende “*ogni movimento direzionale di massa da un'area a un'altra, che abbia caratteristiche di regolarità nel tempo o in relazione con la fase biologica*” (McKeown, 1984).

Il comportamento migratorio è ovviamente molto importante nell'ambito del presente elaborato, esso può essere dovuto a diverse necessità e pertanto è utile precisare che si distinguono (GRAIA, 2011):

- migrazioni riproduttive o genetiche: per la deposizione delle uova;
- migrazioni per accrescimento: che riportano gli stadi giovanili agli ambienti di accrescimento;
- migrazioni trofiche: legate all'evoluzione stagionale degli ecosistemi e dunque della disponibilità di cibo nei diversi ambienti;
- migrazioni di svernamento: legate all'evoluzione stagionale delle temperature;
- migrazioni forzate: dovute ad un fenomeno perturbativo di intensità, frequenza e scala altrimenti difficilmente sopportabili dalle popolazioni di pesci; questo può essere la presenza

di fauna ittiofaga, la presenza di competitori più forti o la scomparsa dell'habitat idoneo che può avvenire per cause naturali come ad esempio il congelamento delle acque o antropiche.

La sovrapposizione delle varie migrazioni definisce la vagilità di una specie ossia la sua capacità di spostamento; in figura (Fig.5-31) seguente si riporta il calendario migratorio di alcune specie ittiche che ne determina la classificazione in funzione della vagilità. Si noti solamente come, delle tre specie campionate nel bacino del torrente Slizza, solo la trota fario presenta vagilità non nulla, cosa che inevitabilmente la rende specie target/dimensionante per le scale di risalita.

Vagilità della specie	Specie (nome comune)	Calendario delle migrazioni											
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
migratrice	storione cobice				↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	anguilla	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	↑		↑	↑
	cheppia			↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓			
	cefalo calamita			↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	passera di mare			↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
molto vagile	alborella			↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	barbo comune			↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	lasca			↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	savetta			↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	cavedano			↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	vairone			↑↓	↑	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	
	pigo			↑↓	↑	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	temolo	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	trota marmorata	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
moderatamente vagile	agone					↑	↑						
	barbo canino			↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	gobione			↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	luccio		↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	bottatrice	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	lampreda padana	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	pesce persico			↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	trota fario	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
scarsamente vagile	carpa			↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	sanguinerola			↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	scardola			↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
	triotto			↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
sedentaria	cagnetta												
	tinca												
	cobite comune												
	cobite mascherato												
	spinarello												
	panzarolo												
	ghiozzo padano												
	salmerino alpino												
	carpione del Garda												
scazzone													

Legenda:
 Direzione di migrazione: verso monte ↑ e verso valle ↓
 ↑↓ migrazioni riproduttive (o genetiche)
 ↑↓ migrazioni per accrescimento
 ↑↓ migrazioni trofiche
 ↑↓ migrazioni forzate per sfuggire all'avifauna ittiofaga

Fig.5-31: Calendario delle migrazioni di alcune specie ittiche – indicate con frecce quelle sicuramente presenti nel bacino del torrente Slizza (GRAIA, 2001).

In particolare, a seconda del loro comportamento migratorio, i pesci possono essere classificati usando lo schema proposto da Tortorese nel 1949 come:

- *Diadromi*: pesci che, attraverso le loro migrazioni, dividono la loro esistenza fra il mare e le acque dolci. Essi sono ulteriormente suddivisibili in:
 - *Anadromi*: pesci marini riproducendosi in acqua dolce;
 - *Catadromi*: pesci d'acqua dolce riproducendosi in mare;
 - *Anfidromi*: pesci che, indipendentemente dalla riproduzione, trascorrono con regolarità un periodo in mare oppure in acqua dolce.

- *Monodromi*: pesci le cui migrazioni si svolgono senza che vengano abbandonate le acque dolci o il mare. Essi sono ulteriormente suddivisibili in:
 - *Potadromi*: pesci sempre in acqua dolce;
 - *Limnodromi*: pesci che stabilmente risiedono nei laghi,
 - *Talassodromi*: pesci sempre marini.

Ovviamente, seguendo la classificazione appena illustrata, le specie ittiche di interesse per l'elaborato, ossia quelle su cui impatta prevalentemente la mancata continuità fluviale, sono quelle *diadrome* (Fig.5-32) che per vari motivi quali trofici, di svernamento, di riproduzione e di accrescimento, devono compiere migrazioni lungo le aste fluviali (Fig.5-33).

Si precisa che ovviamente anche questo paragrafo sarà maggiormente incentrato sulla trota fario e, al fine di evitare ripetute citazioni, si sottolinea che le fonti principali sono i siti di ittiologia riportati in sitografia (dell'ETPI, dell'ittiofauna e dell'IUCN- *International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources*) ed il lavoro *Pesci delle acque interne d'Italia* di Zerunian riportato in bibliografia.

Infine, prima di procedere alla descrizione delle specie ittiche, si ricorda che, ragionando su scala ecosistemica più ampia, che nel bacino idrografico del torrente Slizza vi sono anche altre importanti comunità biologiche che giovano della buona presenza dei pesci.

Tra queste è doveroso citare la lontra [*Lutra lutra*] che, dopo essersi estinta nel corso negli anni '70 del secolo scorso, sta tornando a popolare le acque italiane del bacino danubiano (Lapini, 2012) nelle quali sarà quindi necessario rendere possibile un corretto ripristino mediante ripristino della continuità fluviale del ripopolamento.

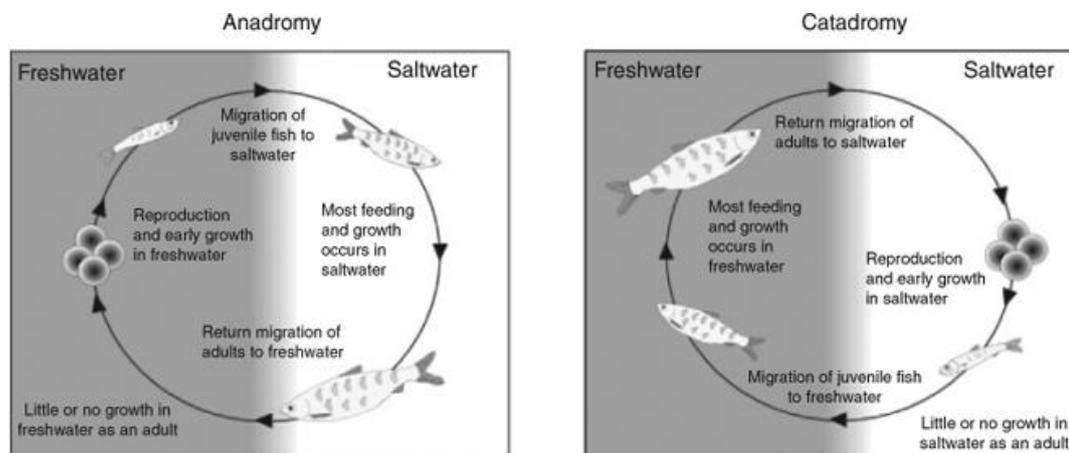


Fig.5-32: Rappresentazione schematica del ciclo vitale di un pesce anadromo e catadromo (da Miles et al.,2013).

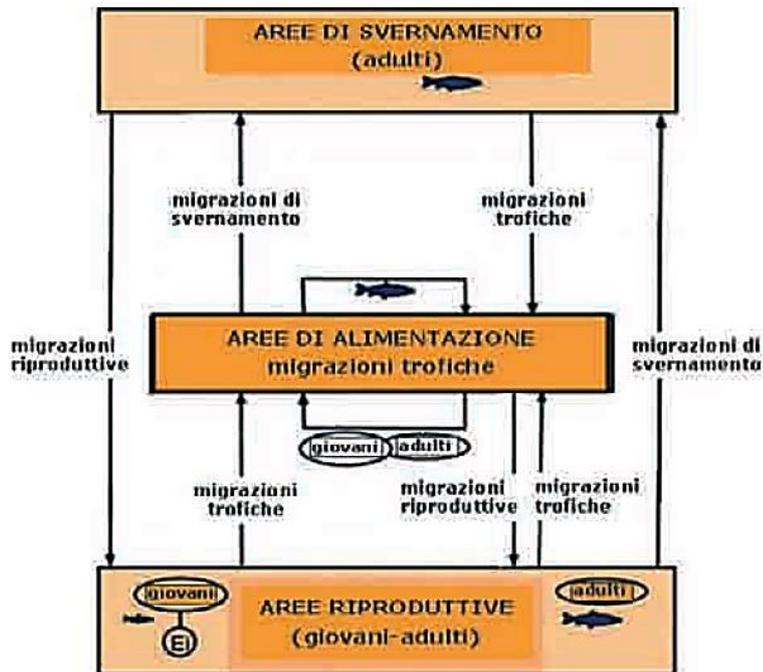


Fig.5-33: Schemi migratori nei pesci d'acqua dolce (da Notiziario ETPI, luglio 2008).

5.3.1. La *Salmo [trutta] trutta* (trota fario).

Salmo [trutta] trutta (Linnaeus, 1758), comunemente chiamata trota fario o trota di torrente (Fig.5-34), è sicuramente la forma più conosciuta e numerosa con la quale si manifestano quei salmonidi chiamati trote e, come tutti loro, rappresenta un'importante risorsa ambientale sia ecologica che economica (Tortorese, 1980).

Come già detto, nel bacino del torrente Slizza, essa risulta essere una specie autoctona essendo quello danubiano uno dei suoi ceppi principali; si nota infatti che lo stesso nome *fario* deriva da un'alterazione della traduzione tedesca del termine trota ovvero *forelle* (Tortorese, 1980).



Fig.5-34: Esempari di trota fario (immagine da lista rossa IUCN)

5.3.1.1. Habitat della trota fario.

L'habitat della trota fario è composto da corpi idrici quali di torrenti freddi, fiumi e laghi purché le loro acque siano limpide, fredde, ossia con temperature normalmente inferiori ai 15°, e ben ossigenate per soddisfare le loro esigenze respiratorie; in montagna la si trova anche a fino alla quota di circa 2500 m. s.l.m.

Nelle acque interne questa trota cresce nei tratti solitamente di monte dei fiumi e torrenti caratterizzati da un'elevata velocità della corrente e aventi fondo costituito da massi, ciottoli e ghiaia grossolana.

In questo ambiente la trota svolge l'intero ciclo biologico essendo anche perfetto per la riproduzione in quanto essa, deponendo le uova al fondo, predilige luoghi in cui il verso della corrente sia spingente sul fondo; al contrario l'ambiente lacustre viene prevalentemente occupato durante la fase trofica per poi migrare per la riproduzione; infatti raramente la trota depone sulle spiagge lacustri dove le onde potrebbero sollevare e trascinare via le uova.

È interessante notare che, a seconda della sua classe d'età, ciascun gruppo di trote occupa una posizione diversa nel corso d'acqua; questo comportamento che si manifesta in maniera molto più evidente nelle forme maggiormente migratrici infatti si nota che gli individui adulti si distribuiscono uniformemente nel corpo centrale dell'alveo mentre gli individui più giovani come il novellame vivono nei pressi delle rive, in aree con minore profondità e velocità della corrente.

In ogni caso, nei corsi d'acqua, la trota fario staziona sempre controcorrente ed in posizioni protette/nascoste quali sono le curve delle rive, dietro i sassi che frangono la corrente o dietro tronchi caduti, nelle buche dove si creano i rigiri, tra le radici sommerse, a valle delle cascate, nelle fossette sul fondale in zone a corrente non elevata; questo le consente di attendere il cibo con minor dispendio in condizioni riparate sia dal sole che dalla corrente (Fig.5-35).

Questo fatto risulta interessante in quanto, anche nel progetto dei passaggi per i pesci, si cercherà di sfruttare questa predilezione delle trote, cercando di ricrearla nell'opera fornendogli sia una corrente attrattiva, sia i ripari/aree di sosta sulle quali nascondersi e quindi in modo da invitarla alla salita.

Invece, nei laghi, per le stesse ragioni, frequenta le zone rocciose dove si aprono cavità naturali e sosta anche in vicinanza di gruppi di vegetazione.

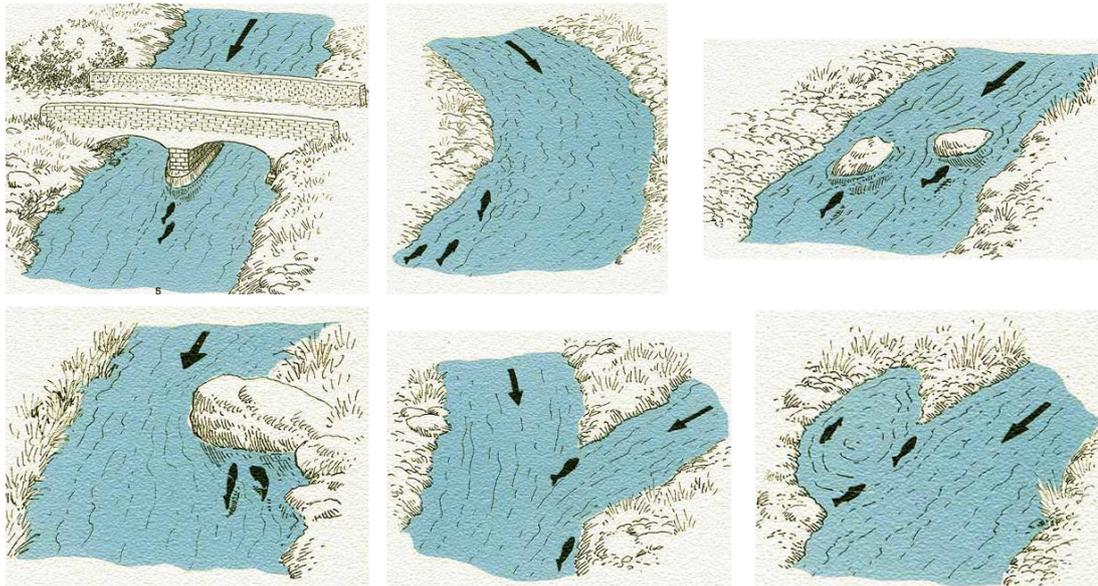


Fig.5-35: Esempio di tipiche posizioni assunte dalla trota fario in un corso d'acqua (Bruno, 1987).

5.3.1.2. Biologia della trota fario.

La trota fario è un pesce di taglia media, infatti, la lunghezza ed il peso massimi sono, rispettivamente di circa 50 cm e di 1 ÷ 1.5 kg; ovviamente le dimensioni variano in relazione alle caratteristiche ambientali ovvero dalla disponibilità di risorse trofiche e dalle condizioni termiche in quanto la crescita è più lenta in acque fredde ed oligotrofiche.

Solitamente (Zerunian, 2004) nei corsi d'acqua queste trote le dimensioni di queste trote sono quelle riportate in tabella (Tab.5.3.1.2-I); confrontando i valori in tabella con le lunghezze medie ottenute dai dati ittici di campionamento (si veda Fig.5-10) si verifica come questi siano assolutamente concordi.

Tab.5.3.1.2-I: Lunghezze tipiche della trota fario

Età	L [cm]
Termine del 1° anno	9 ÷ 13
Termine del 2° anno	16 ÷ 20
Termine del 3° anno	20 ÷ 25
Termine del 4° anno	~ 30

Per quanto riguarda il peso, nei torrenti montani risulta raro che questo superi i 300 g; non avendolo ancora fatto si riporta il diagramma dei pesi medi per le varie classi d'età ottenuto elaborando i dati ittici campionati (Fig.5-36).

Come si nota dalla figura i risultati sono concordi con i valori di letteratura ma si ricorda che il diagramma riporta i valori mediati sulle varie stazioni; osservando i dati in appendice si noterebbe che sul rio del Lago di fusine il peso medio degli esemplari della classe 5 è di ben 456 g.

Il risultato non è tuttavia anomalo considerando la grande variabilità propria di questa specie che è incrementata dalle immissioni di soggetti alloctoni.

Da studi svolti sulla dinamica di popolazione sui corsi d'acqua delle Prealpi Venete (Marconato, 1989) emerge che, nella grande maggioranza dei casi, la densità di popolazione sia compresa tra 0,1 e 0,5 unità/m²; da un rapido confronto con i risultati del campionamento riassunti in figura (Fig.5-37) si nota che nel bacino del torrente Slizza la densità è assai al di sotto del range nel quale per poco rientra solo il Rio del Lago di Fusine.

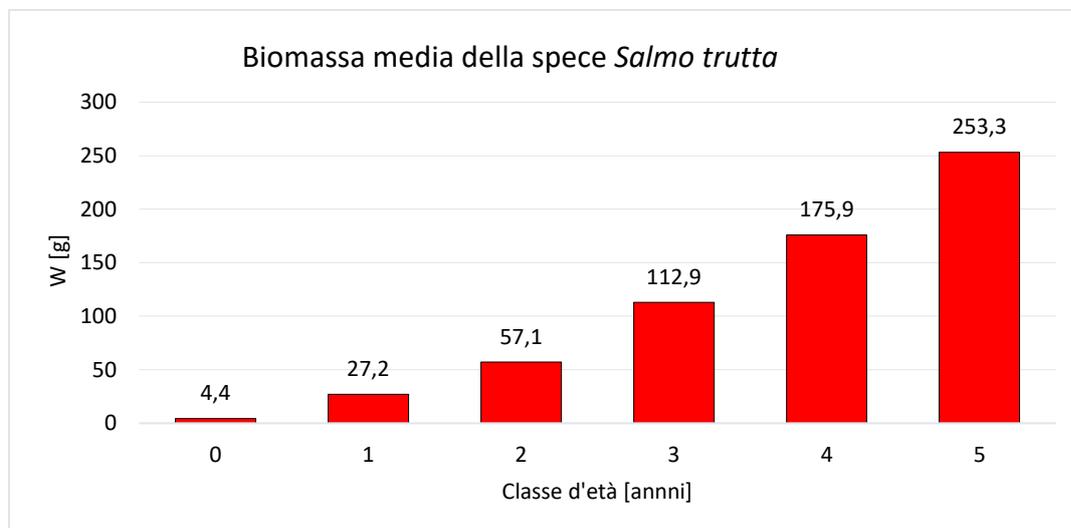


Fig.5-36: Andamento per classe d'età della e della biomassa media della specie *Salmo trutta* nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice G).

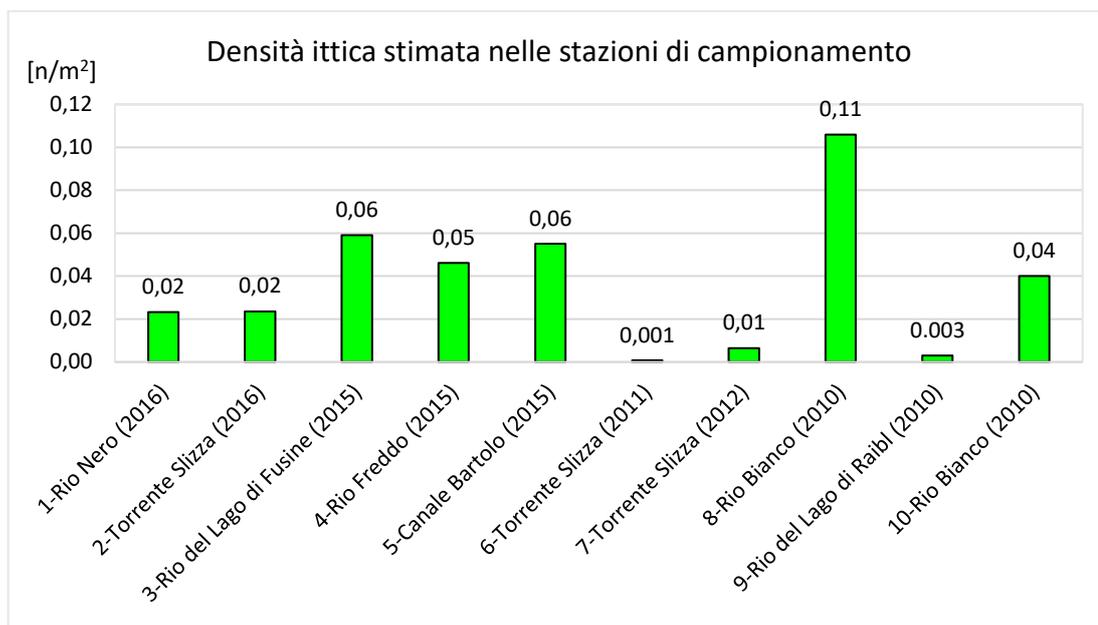


Fig.5-37: Andamento della densità ittica della specie *Salmo trutta* stimata nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice G).

Un'altra caratteristica molto importante è che la trota fario è un pesce con eccellenti capacità natatorie, la sua velocità di scatto infatti si aggira intorno ai 40 km/h (circa 11 m/s).

Per quanto riguarda il ciclo vitale (Fig.5-38), le trote fario di solito raggiungono la maturità sessuale e si riproducono per la prima volta a 2-3 anni; se riescono possono riprodursi per 2-3 stagioni.

Il periodo di riproduttivo si può individuare tra la fine di ottobre e marzo, ma solitamente si concentra tra novembre, dicembre e gennaio.

Come si vede dalla precedente figura (Fig.5-31), in questo periodo gli esemplari sessualmente maturi di età superiore a 2 ÷ 3 anni migrano risalendo i corsi d'acqua verso i loro tratti di monte o lungo i loro affluenti minori alla ricerca di zone a fondo ghiaioso, poco profonde e con velocità moderata adatte alla deposizione delle uova; in queste aree la temperatura ottimale è di 5° ÷ 10°.

In tali zone le femmine depongono le uova nel "nido" scavato nella ghiaia per poi ricoprirlo nuovamente con ghiaia.

Lo sviluppo embrionale richiede circa 450 gradi-giorno e quindi, considerando la temperatura ottimale, tale periodo può anche durare diversi mesi; in tale lasso di tempo è ovviamente importante che non vi siano forti eventi di trasporto solido, piena o intasamenti del nido.

I neonati avannotti stazionano per un lungo periodo nei pressi del luogo in cui sono nati aree che quindi viene chiamato area di nursery e solo dopo circa un anno si spingono verso valle alla ricerca di tratti con maggiori quantità d'acqua; mentre i genitori, dopo la schiusa, muoiono o ritornano anch'essi verso valle (Tortonese, 1980); questa informazione potrebbe anche essere una giustificazione della scarsa presenza di classi d'età estreme lungo il Rio del Lago del Predil magari povero di cibo.

In particolare, come si vede sempre in figura Fig.5-31, la trota sarà dedita a migrazioni trofiche, verso monte o valle a seconda della disponibilità di cibo, in tutto il periodo non riproduttivo, cosa che le rende specie moderatamente vagile.

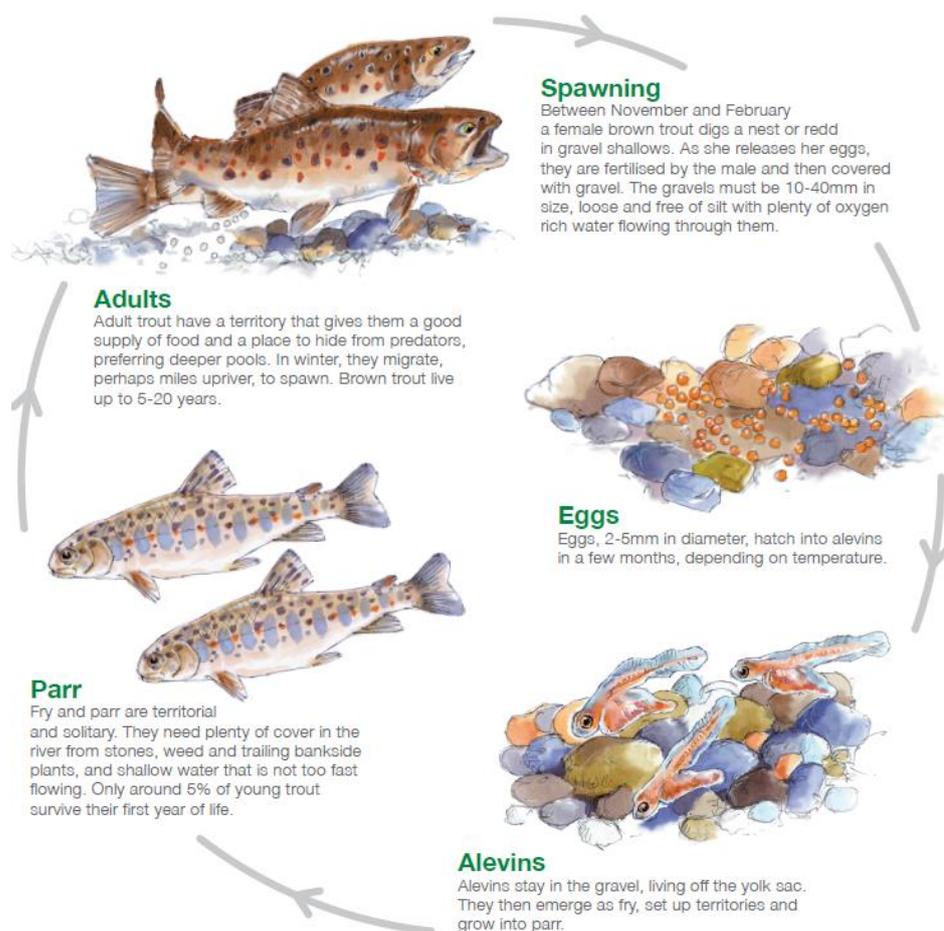


Fig.5-38: Schema del ciclo vitale della trota fario (da www.wildtrout.org).

È importante sottolineare che, nonostante la trota fario sia una delle specie maggiormente diffuse, le popolazioni di ceppo danubiano presenti nel bacino dello Slizza, essendo autoctone sono classificate come “*in pericolo*” nella lista rossa dei pesci d’acqua dolce in Italia.

Questo problema è, come ripetuto più volte nel corso del capitolo, conseguenza dell’inquinamento genetico prodotto dalle immissioni di trote di ceppo atlantico; tuttavia in questa condizione diventa ancora più importante evitare che un ulteriore danno alla specie sia prodotto dalla mancata presenza di una mancata continuità ecologica.

Di conseguenza le opere di risalita dedicate a tale specie risultano particolarmente importanti.

5.3.2. Il *Salvelinus alpinus* (salmerino alpino).

Salvelinus alpinus (Linnaeus, 1758), comunemente chiamato salmerino alpino (Fig.5-39), è un pesce di discreta valenza ecologica che, come visto al paragrafo 5.1, era originariamente autoctono nel bacino del torrente Slizza ma dove le popolazioni odierne, che risiedono nei laghi alpini di Raibl e Fusine, derivano da un’introduzione di esemplari dal Lago Sloveno di Bohinj.



Fig.5-39: Esemplari di salmerino alpino (immagine da www.guidaallapesca.it).

5.3.2.1. Habitat del salmerino alpino.

Come per la trota fario, anche il Salmerino alpino richiede acque limpide, fredde e ben ossigenate; tuttavia, come già accennato nei paragrafi precedenti, il suo habitat in Italia è composto quasi esclusivamente dai grandi laghi prealpini e dai laghi alpini di bassa quota.

5.3.2.2. Biologia del salmerino alpino.

Il Salmerino alpino risulta un pesce di caratterizzato da un'elevata variabilità qualitativa delle sue popolazioni; queste infatti, a seconda dell'ambiente in cui si trovano, possono essere di taglia media con lunghezza massima di $50 \div 60$ cm, a cui solitamente sono associati valori di massa pari a $1.5 \div 3$ kg, oppure di taglia piccola con lunghezza massima di $10 \div 15$ cm.

Ovviamente, come anche per le trote, la crescita dipende molto dalle condizioni ambientali soprattutto trofiche, termiche, ma in generale nel Salmerino questa è lenta in quanto a 3 ÷ 4 anni un esemplare è solitamente lungo $13 \div 18$ cm.

Ricordando che nel campionamento ittico a cui si è fatto riferimento nel capitolo sono stati rilevati solo Salmerini adulti, è possibile confrontare i loro valori medi di lunghezza (si veda Fig.5-12) e di massa (Fig.5-40) con quelli massimi e di crescita riportati pocanzi.

Da questo confronto risulta che i Salmerini campionati nel Lago del Predil sono di taglia media in quanto avevano valori massimi di lunghezza media di circa $21 \div 24$ cm ed un peso di $82 \div 102$ g e sono coerenti con gli intervalli definiti in letteratura sia per la taglia massima che per quella a 4 anni.

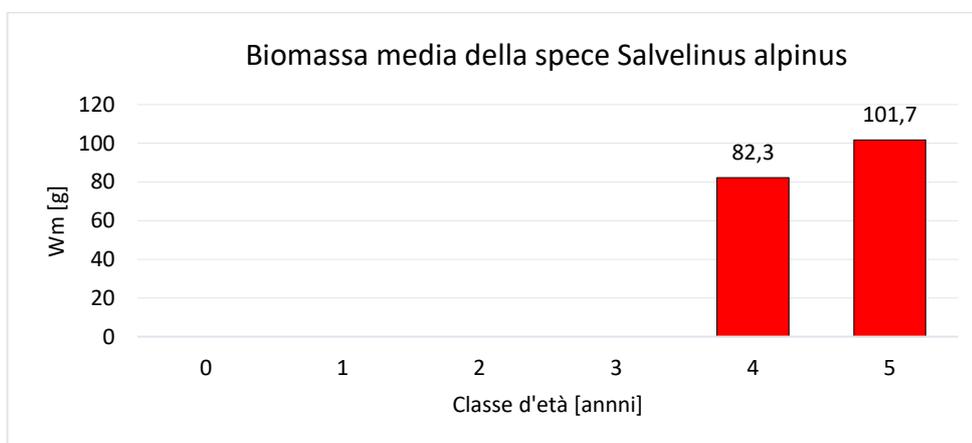


Fig.5-40: Andamento per classe d'età della biomassa media della specie *Salvelinus alpinus* nel bacino del torrente Slizza (da elaborazioni dati ittici in Appendice G).

Per quanto riguarda il ciclo vitale del Salmerino alpino, nel contesto di questa tesi, esso risulta molto meno interessante di quello della trota fario; infatti le sue popolazioni Italiane, al contrario di quelle Atlantiche e Scandinave diffuse a nord del 65° parallelo che sono fortemente anadrome, sono *monodrome* - stanziali lacustri, ossia *limnodrome* e quindi non necessitano di passaggi per pesci.

Tale comportamento è confermato anche in figura (Fig.5-32) in cui il salmerino veniva classificato come specie sedentaria.

Per completezza si osserva comunque che la riproduzione del Salmerino alpino nei laghi Italiani, raggiunta la maturità sessuale (2 ÷ 5 anni) avviene normalmente fra novembre (in alcuni casi anche prima) e gennaio; la procedura di deposizione è analoga alle trote, sempre su fondali ghiaioso – pietrosi ma non necessariamente poco profondi. La schiusa avviene solitamente a maggio – giugno.

È interessante notare che il salmerino alpino è classificato come “*in pericolo*” nella lista rossa dei pesci d’acqua dolce in Italia; tuttavia, per quanto appena detto, questa situazione non è dovuta alla mancanza di passaggi per pesci ma in primo luogo alle attività di pesca.

5.3.3. Il *Cottus gobio* (scazzone).

Cottus gobio (Linnaeus, 1758), comunemente chiamato Scazzone (Fig.5-41), è un pesce di ridotta valenza che tuttavia risulta essere un ottimo indicatore ambientale della qualità delle acque in quanto esso risente delle pressioni antropiche in termini di inquinamento, di modifica dell’habitat e di immissioni di altre specie.

Come già accennato nei paragrafi questa specie è stata immessa dal Fella nel bacino dello Slizza, in cui è tuttora presente come testimonia il campionamento.



Fig.5-41: Esemplare di scazzone (immagine da www.ittiofauna.org).

5.3.3.1. Habitat dello scazzone.

L’habitat dello Scazzone è composto da acque correnti limpide, fresche e ben ossigenate, con temperature non superiori a 14 ÷ 16°C, e substrato duro misto a massi, ghiaia, ciottoli e sabbia quindi tutte condizioni che solitamente si trovano nei tratti più montani. Può trovarsi anche in laghi di acqua fredda con sponde rocciose o ghiaiose.

Gli spostamenti per fini trofici dello Scazzone sono limitati a condizioni in cui vi è poca luce poiché in presenza di questa preferisce restare rintanato nel fondale in cui si mimetizza.

5.3.3.2. Biologia dello scazzone.

Lo Scazzone è un pesce di piccola taglia in quanto ha lunghezza massima di 15 ÷ 16 cm e per il quale, come tutti gli altri pesci visti fino ad ora, la crescita è influenzata dalle disponibilità trofiche che sono solitamente più abbondanti in ambienti lacustri.

L'ambiente in cui risiede influenza notevolmente anche il raggiungimento della maturità sessuale che mediamente raggiunge tra i 2 ÷ 4 anni e la durata del ciclo biologico che dura mediamente 4 ÷ 5 anni. Si fa notare come tutti i dati ittici relativi agli esemplari campionati sul torrente Slizza (si veda Fig.5-11) risultano coerenti con i valori riportati pocanzi.

Per quanto riguarda il ciclo vitale, anche questa specie evidenzia un comportamento prevalentemente *monodromo* (si veda Fig.5-30), con tutt'al più rari e brevi spostamenti dediti soprattutto per la ricerca di zone adatte alla riproduzione che sono spazi sotto pietre o altri oggetti piatti oppure in cavità del substrato.

Pertanto anche questa specie non necessiterebbe direttamente delle scale di risalita; tuttavia, come detto all'inizio della descrizione ne gioverebbero indirettamente perché queste consentono di preservare il concetto la continuità ecologica del corpo idrico.

Solo per completezza rispetto alle altre specie, anche per lo Scazzone si precisa che il periodo riproduttivo inizia quando la temperatura dell'acqua sale sopra 12 °C, quindi solitamente tra febbraio e maggio, mentre lo sviluppo embrionale richiede 3 ÷ 4 settimane.

Nella lista rossa dei pesci d'acqua dolce in Italia è classificato come "*vulnerabile*"; le cause si identificano prevalentemente nella pesca e nella sua "sensibilità" ambientale; per quest'ultimo motivo anche questa specie gioverebbe di un corretto ripristino di continuità mediante passaggi per pesci.

Appendice F – Dati ittici dei campionamenti svolti nel bacino idrografico del torrente Slizza tra il 2010 e il 2016.

Stazione 1 - Rio Nero, Fusine Val Romana (11/08/16)						
Specie	Età	N [-]	L_m [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	1	9.8	9.0	0.0023	0.0210
	1	3	13.7	25.7	0.0070	0.1795
	2	3	18.3	58.3	0.0070	0.4079
	3	3	23.5	130.0	0.0070	0.9091
	Somma	10			0.0233	1.5175

Stazione 2 - Torrente Slizza, Tarvisio (11/08/16)						
Specie	Età	N [-]	L_m [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	4	6.9	2.8	0.0013	0.0036
	1	28	13.2	21.1	0.0092	0.1931
	2	24	17.3	43.5	0.0078	0.3415
	3	16	22.1	104.1	0.0052	0.5441
	4	9	23.8	125.6	0.0029	0.3693
	5	11	26.3	164.1	0.0036	0.5899
	Somma	72			0.0235	1.0824

Stazione 3 - Rio Del Lago (di Fusine), Fusine Val Romana (31/07/2015)						
Specie	Età	N [-]	L_m [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	8	6.8	4.8	0.0121	0.0576
	1	9	14.3	32.6	0.0152	0.4933
	2	3	18.8	68.0	0.0045	0.3091
	3	14	24.0	144.6	0.0212	3.0682
	4	3	29.7	287.3	0.0045	1.3061
	5	1	35.0	456.0	0.0015	0.6909
	Somma	38			0.0591	5.9251

Stazione 4 - Rio Freddo, Rio Freddo (31/07/2015)						
Specie	Età	N [-]	L_m [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	8	7.0	5.4	0.0308	0.1654
	1	2	14.5	30.5	0.0077	0.2346
	3	2	24.0	134.5	0.0077	1.0346
	Somma	12			0.0462	1.4346

Stazione 5 - Canale Bartolo, Camporosso (03/08/2015)						
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	3	6.9	4.3	0.0082	0.0354
	1	6	14.8	32.8	0.0163	0.5361
	2	9	18.1	52.7	0.0184	0.9673
	3	6	22.3	104.8	0.0122	1.2837
	Somma	24			0.0551	2.8224

Stazione 6 - Torrente Slizza, Coccau (13/07/2011)						
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Cottus gobio</i>	2	2	7.3	4.5	0.0003	0.0011
	3	8	9.9	11.6	0.0010	0.0120
	4	17	11.7	17.6	0.0031	0.0539
	5	1	13.5	25.0	0.0001	0.0032
	Somma	28			0.0045	0.0702
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	B [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	2	7.0	4.0	0.0003	0.0010
	2	1	16.0	38.0	0.0001	0.0048
	3	3	21.2	95.3	0.0004	0.0361
	Somma	6			0.0008	0.0419

Stazione 7 - Torrente Slizza (08/06/2012)						
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	4	7.3	4.5	0.0006	0.0026
	1	15	12.4	20.3	0.0021	0.0434
	2	13	18.2	65.3	0.0019	0.1209
	3	5	21.5	94.4	0.0007	0.0672
	4	3	24.0	150.7	0.0004	0.0644
	5	5	26.0	176.0	0.0007	0.1254
	Somma	45			0.0064	0.4239

Stazione 8 - Rio Bianco, S. Antonio (10/07/2010)						
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	21	6.9	2.6	0.0370	0.0970
	1	7	13.8	27	0.0280	0.7660
	2	14	17.9	64.4	0.0250	1.5990
	3	4	21.6	105	0.0090	0.9310
	4	4	23.9	140.2	0.0070	0.9940
	Somma	50			0.1060	4.387

Stazione 9 - Rio del Lago (del Predil), Cave del Predil (06/07/2010)						
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salvelinus alpinus</i>	4	19	21.0	82.3	0.0090	0.7220
	5	9	23.9	101.7	0.0040	0.4010
	Somma	28			0.0130	1.123
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	2	5	17.2	72.4	0.0020	0.1590
	5	1	27.0	217.0	0.0000	0.0950
	Somma	6			0.0030	0.254

Stazione 10 - Rio Bianco, Ortigara (06/07/2010)						
Specie	Età	N [-]	L_{tm} [cm]	W_m [g]	δ [st/m²]	D [g/m²]
<i>Salmo trutta</i>	0	1	8.0	2.0	0.0010	0.0020
	1	23	14.1	27.6	0.0290	0.7930
	2	8	17.4	51.0	0.0090	0.4690
	3	1	22.5	103.0	0.0010	0.1180
	Somma	33			0.0400	1.383

Appendice G – Dati ittici delle immissioni svolte nel bacino idrografico del torrente Slizza tra il 2000 e il 2016 dall’ETPI del Friuli Venezia Giulia.

Tipo	Corso	Località	provenienza	specie	pezzatura	regime	n/kg	q.tà	data
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	50	11/08/2016
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	50	11/08/2016
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	200	15/06/2016
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	14/06/2016
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Polcenigo	Fario	Adulto	Altre Acque	Kg	200	18/05/2016
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Polcenigo	Fario	Adulto	Altre Acque	Kg	100	18/05/2016
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	29/07/2015
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	29/07/2015
Torrente	Batolo	da Camporosso a malghe val Bartolo	Flambro	Fario	Novellame	Altre Acque	N	10000	14/07/2015
Rio	Bianco di Fusine	da Oltreacque a confl. R. del lago	Flambro	Fario	Novellame	Altre Acque	N	3000	14/07/2015
Rio	del Lago di Fusine	da scarico l. Inferiore di Fusine a bivio SR 54	Flambro	Fario	Novellame	Zona Ripopolamento	N	4000	14/07/2015
Torrente	Slizza	da confl. Rio Freddo a SR 54 km 91,7	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	8000	14/07/2015
Lago	Superiore di Fusine	lago	Flambro	Fario	Novellame	Zona Ripopolamento	N	5000	14/07/2015
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Regime Particolare	Kg	200	19/06/2015
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Adulto	Regime Particolare	Kg	100	19/06/2015
Lago	di Raibl	lago Predil	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	10000	13/05/2015
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	50	11/08/2014
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	50	11/08/2014
Torrente	Bartolo	Camporosso - Tarvisio	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	10000	24/06/2014
Rio	Bianco di Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	5000	24/06/2014
Torrente	Slizza	Cave - Tarvisio	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	10000	24/06/2014
Lago	Superiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Novellame	Lago	N	5000	24/06/2014
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	11/06/2014
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	11/06/2014
Torrente	Bartolo	Camporosso a valle	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	21/05/2014
Rio	Bianco di Fusine	da l. Fusine Inferiore a valle	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	21/05/2014
Torrente	Slizza	Cave - Tarvisio	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	21/05/2014
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	16/08/2013
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	27/05/2013
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	23/07/2012
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	23/07/2012
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	24/05/2012
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	24/05/2012

Torrente	Bartolo	Camporosso	Flambro	Fario	Novellame	Altre Acque	N	15000	11/05/2012
Torrente	Slizza	Tarvisio	Flambro	Fario	Novellame	Altre Acque	N	15000	11/05/2012
Torrente	Bartolo	Rute di Camporosso e val Bartolo	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	20000	27/01/2012
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	20000	27/01/2012
Rio	del lago Inferiore	Graben Riofreddo	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	30000	26/01/2012
Rio	Nero Fusine	1 km a monte ss 13	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	26/01/2012
Lago	di Raibl	Cave - Tarvisio	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	150	27/07/2011
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	150	27/07/2011
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Novellame	Altre Acque	N	5000	14/07/2011
Lago	di Raibl	Cave	Flambro	Fario	Novellame	Lago	N	5000	14/07/2011
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Novellame	Lago	N	5000	14/07/2011
Rio	Nero Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Novellame	Altre Acque	N	5000	14/07/2011
Torrente	Bartolo	Camporosso val Bartolo	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	10000	13/07/2011
Torrente	Slizza	Riofreddo	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	10000	13/07/2011
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	5000	14/06/2011
Rio	del Lago di Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	2500	14/06/2011
Torrente	Slizza	Graben e stazione angolo	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	7500	14/06/2011
Torrente	Bartolo	sorgenti val Bartolo e lungo il rio	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	10000	13/06/2011
Lago	di Raibl	Cave- Tarvisio	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	17/05/2011
Rio	Riofreddo	sorgenti a metà rio	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	5000	13/05/2011
Lago	di Raibl	lago	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	06/05/2011
Lago	Inferiore Fusine	lago	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	06/05/2011
Lago	Superiore di Fusine	lago	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	06/05/2011
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	11000	06/04/2011
Lago	Inferiore Fusine	Fusine lago	Flambro	Fario	Avannotti	Lago	N	12000	06/04/2011
Torrente	Bartolo	Camporosso val Bartolo asta principale e affluenti	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	11000	05/04/2011
Lago	di Raibl	lago	Flambro	Fario	Avannotti	Lago	N	11000	05/04/2011
Torrente	Slizza e R. del Lago	Riofreddo	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	11000	05/04/2011
Rio	Carri	Coccau sorgenti	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	11000	04/02/2011
Rio	Molino	Rutte sorgenti	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	11000	04/02/2011
Rio	Nero Fusine	sorgenti	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	11000	04/02/2011
Rio	Riofreddo	Riofreddo val Prisnig	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	11000	04/02/2011
Torrente	Bartolo	asta principale e affluenti Camporosso/Tarvisio	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	5000	01/09/2010

Rio	Bianco di Fusine	asta principale e affluenti Fusine	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	5000	01/09/2010
Torrente	Slizza	asta principale e affluenti Cave/Tarvisio	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	5000	01/09/2010
Lago	di Raibl	Cave	Polcenigo	Fario	Adulto	Lago	Kg	200	28/07/2010
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	13/05/2010
Lago	Inferiore Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	100	13/05/2010
Torrente	Bartolo	val Bartolo sorgenti	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Rio	del Lago di Fusine	piana di Fusine	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Rio	del Lago Inferiore	Graben	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Rio	Molino	Rutte	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Rio	Nero Fusine	2 km ca. da strada statale	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Rio	Riofreddo	val Prasnig	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Torrente	Slizza	ex stazione angolo	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	12500	12/04/2010
Torrente	Bartolo	val Bartolo	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	3000	12/10/2009
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	3000	12/10/2009
Rio	Molino	Rutte Piccolo	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	3000	12/10/2009
Rio	Riofreddo	val Prasnig	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	3000	12/10/2009
Torrente	Slizza	Rio Freddo	Flambro	Fario	Novellame	Regime Particolare	N	3000	12/10/2009
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Adulto	Lago	Kg	200	24/07/2009
Torrente	Bartolo	val Bartolo	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	5000	14/06/2008
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	5000	14/06/2008
Rio	Carri	Coccau	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	5000	14/06/2008
Rio	del lago Inferiore	Graben	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	5000	14/06/2008
Lago	Inferiore Fusine	lago	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	7500	14/06/2008
Rio	Nero Fusine	Fusine 3a briglia a monte	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	5000	14/06/2008
Lago	Predil/Raibl/Cave	lago	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	5000	14/06/2008
Rio	Riofreddo	Prasnig	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	5000	14/06/2008
Lago	Superiore di Fusine	lago	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	7500	14/06/2008
Torrente	Slizza	Graben	Masareit	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	10000	19/05/2008
Lago	di Raibl	lago	Flambro	Fario	Adulto	Regime Particolare	Kg	100	16/05/2008
Lago	Inferiore Fusine	lago	Flambro	Fario	Adulto	Regime Particolare	Kg	100	16/05/2008
Torrente	Bartolo	Val Bartolo	Polcenigo	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	5000	26/01/2008
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara sorgenti	Polcenigo	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	5000	26/01/2008
Rio	del lago Inferiore	Graben	Polcenigo	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	5000	26/01/2008
Torrente	Slizza	stazione angolo	Polcenigo	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	5000	26/01/2008

Torrente	Bartolo	sorgenti Val Bartolo	Flambro	Fario	Novella me	Regime Particolare	N	300	20/07/2007
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Novella me	Regime Particolare	N	200	20/07/2007
Rio	Carri	Coccau	Flambro	Fario	Novella me	Regime Particolare	N	200	20/07/2007
Rio	del Lago Inferiore	Grabben	Flambro	Fario	Novella me	Regime Particolare	N	300	20/07/2007
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara	Flambro	Fario	Avannot ti	art.10	N	100	19/05/2007
Lago	Inferiore Fusine	lago	Flambro	Fario	Avannot ti	Lago	N	100	19/05/2007
Rio	Nero Fusine	sorgenti	Flambro	Fario	Avannot ti	art. 10	N	100	19/05/2007
Torrente	Bartolo	sorgenti	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	18/05/2007
Rio	del lago Inferiore	Grabben	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	18/05/2007
Lago	di Raibl	Cave	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	18/05/2007
Torrente	Bartolo	sorgenti val Bartolo	Flambro	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	500	24/02/2007
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara sorgenti	Flambro	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	500	24/02/2007
Torrente	Slizza	sorgenti Grabben	Flambro	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	100	24/02/2007
Torrente	Bartolo	sorgenti	Flambro	Fario	Novella me	Regime Particolare	N	250	09/11/2006
Rio	Riofreddo	sorgenti	Flambro	Fario	Novella me	Regime Particolare	N	250	09/11/2006
Lago	Superiore di Fusine	Fusine	Flambro	Fario	Adulto	Regime Particolare	Kg	50	24/08/2006
Fiume	Fella	spartiacque sorgenti	Grauzaria	Marmora ta0+	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	15/07/2006
Rio	Carri	Coccau sorgenti	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	22/04/2006
Torrente	Slizza	Grabben	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	22/04/2006
Rio	del Lago di Fusine	Fusine acciaierie	Flambro	Fario	Avannot ti	Zona Ripopolamento	N	100	14/04/2006
Rio	del lago inferiore	Cave sorg. Briglia	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	14/04/2006
Rio	Nero Fusine	Fusine sorgenti	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	14/04/2006
Torrente	Bartolo	sorgenti Val Bartolo	Flambro	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	500	11/03/2006
Rio	Bianco di Fusine	Fusine Ortigara	Flambro	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	500	11/03/2006
Rio	del Lago superiore	sorgenti Cave del Predil	Flambro	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	500	11/03/2006
Rio	Riofreddo	Val Prisnig	Flambro	Fario	Uova Vibert	Regime Particolare	N	500	11/03/2006
Torrente	Bartolo	val Bartolo	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	30/04/2005
Rio	Bianco di Fusine	sorgenti Ortigara	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	30/04/2005
Rio	del Lago superiore	sorgenti	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	30/04/2005
Rio	Riofreddo	val Prisnig	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	30/04/2005
Torrente	Slizza	Grabben	Flambro	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	30/04/2005
Rio	del Lago Superiore	sorgenti	Grabben	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	300	21/05/2002
Lago	di Raibl	lago	Grabben	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	800	21/05/2002
Rio	Molino	sorgenti Rutte Piccolo	Grabben	Fario	Avannot ti	Regime Particolare	N	100	21/05/2002

Rio	Tordo	sorgenti	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	300	21/05/2002
Torrente	Bartolo	Prati val Bartolo	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	150	18/05/2002
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara sorgenti	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	150	18/05/2002
Lago	di Raibl	lago	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	300	18/05/2002
Rio	Riofreddo	sorgenti Val Prsnig	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	150	18/05/2002
Torrente	Slizza	Graben sorgenti	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	400	29/05/2001
Torrente	Slizza	stazione angolo	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	700	29/05/2001
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara sorgenti	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	150	28/05/2001
Rio	Carri	Coccau sorgenti	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	150	28/05/2001
Rio	Confine	poscolle Sorgenti	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	150	28/05/2001
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	200	28/05/2001
Rio	Riofreddo	Prsnig sorgenti	Graben	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	200	28/05/2001
Lago	inferiore Fusine	Fusine	Masareit	Salmerino Alpino	Adulto	Regime Particolare	N	200	27/01/2001
Rio	Bianco di Fusine	Ortigara Sorgenti	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	100	03/06/2000
Rio	Carri	Coccau guado	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	150	03/06/2000
Rio	Riofreddo	Sorgenti	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	200	03/06/2000
Torrente	Bartolo	Prati Val Bartolo	Flambro	Fario	Avannotti	Regime Particolare	N	200	02/06/2000
Lago	di Raibl	Cave del Predil	Flambro	Fario	Avannotti	Altre Acquer	N	300	02/06/2000

6. IL CALCOLO DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE.

Nel presente capitolo si tratterà il tema del *Deflusso Minimo Vitale*, che nel proseguo verrà citato col suo acronimo DMV, illustrandone gli aspetti ecologici, storici, normativi e di sviluppo futuro per poi impostarne il calcolo secondo alcune metodologie prescelte in alcune sezioni del bacino idrografico del torrente Slizza.

6.1. Il continuum fluviale (*River Continuum Concept*).

Nei capitoli precedenti è stato più volte accennato che, uno degli obiettivi fondamentali in un progetto di ripristino, nel quale è sottointesa la necessità di rilascio del DMV, è quello di garantire la continuità delle aste e di evitare la frammentazione degli habitat in esso presenti; questa particolare terminologia e funzione è più comprensibile se si considera l'applicazione al reticolo idrografico del concetto di continuum fluviale.

Il concetto di continuum fluviale (*River Continuum Concept*) è stato introdotto per la prima volta nel 1980 da Vannote ed altri studiosi nell'ambito del *River Continuum Project* della NSF (*National Science Foundation*).

Il lavoro si sviluppò intorno all'osservazione di base che, lungo tutto il suo sviluppo longitudinale, le variabili fisiche all'interno di un sistema fluviale presentano un continuo gradiente di condizioni fisiche ossia morfologiche, idrodinamiche, chimiche e fisiche in senso stretto.

Questo gradiente dovrebbe suscitare una serie di risposte all'interno le popolazioni costituenti risultanti in un continuum di aggiustamenti biotici e coerenti modelli di carico, trasporto, utilizzo e stoccaggio di materia organica lungo la lunghezza dell'asta (Vannote et al., 1980).

In altri termini i corsi d'acqua sono una successione, dettata dal gradiente definito pocanzi, di ecosistemi "aperti", dotati cioè di importanti interconnessioni trofiche, flussi di materia ed energia, non solo in senso longitudinale che è sicuramente dominante vista la natura prevalentemente monodimensionale delle aste, ma anche laterale, non limitato alla sola sezione liquida ma che si estende anche agli ecosistemi terrestri circostanti, infine anche verticale lungo una data sezione.

In questo quadro di connessione-continuità tra ecosistemi è importante precisare che l'introduzione di una perturbazione/discontinuità locale in una qualunque delle direzioni di sviluppo del continuum non produrrà mai effetti altrettanto locali ma le sue conseguenze sull'ecosistema si si propagheranno a causa dei legami di vario tipo sia a monte che a valle lungo l'asta.

Per giunta, oltre a proporre una visione unificante dell'ecologia fluviale, il *River Continuum Concept* evidenzia la stretta dipendenza della struttura e delle funzioni delle comunità biologiche, dalle condizioni geomorfologiche ed idrauliche medie del sistema fisico ossia del bacino idrografico; questa dipendenza è particolarmente forte nella comunità bentonica, appartenente al *benthos*, ossia alla categoria ecologica che comprende gli organismi acquatici, sia d'acqua dolce sia marini, che vivono in stretto contatto con il fondo o fissati ad un substrato solido.

In particolare è interessante sottolineare la dipendenza dalla geomorfologia che si manifesta in una sorta di gerarchizzazione/classificazione dell'ecosistema fluviale connessa direttamente alla gerarchizzazione delle aste del reticolo idrografico di Horton-Strahler.

Di seguito si precede ad una breve descrizione del funzionamento dell'ecosistema fluviale adottando il concetto di continuum necessario per poi comprendere meglio l'importanza del DMV, per cui, al fine di rendere comprensibile parte della terminologia che si troverà nel seguito è necessario precisare che, nella comunità bentonica, gli organismi possono essere suddivisi in funzione delle loro dimensioni in:

- *macrobenthos*, se dimensioni superiori ad 1 mm;
- *meiobenthos* se dimensioni comprese tra 0,063 mm e 1 mm;
- *microbenthos* se dimensioni inferiori a 0,063 mm;

Mentre per quanto riguarda la loro posizione nella catena trofica (Fig.6-1), nell'habitat lotico ossia delle correnti d'acqua dolce, gli organismi bentonici appartengono a 6 categorie:

- Frammentatori: sono organismi detritivori che si nutrono di detriti ossia di depositi di materiale organico grossolano come ad esempio delle foglie degli alberi cadute nell'acqua;
- Collettori: sono organismi che si nutrono di particelle minute di sostanza organica, di diametro inferiore ai 2 mm;
- Raccoglitori: sono organismi che raccolgono la sostanza organica dal sedimento;
- Filtratori: sono organismi che trattengono con un apparato boccale appositamente conformato le minuscole particelle di cibo e i batteri veicolati dalla corrente;

- Pascolatori e raschiatori: sono organismi che hanno appendici boccali idonee a raccogliere o raschiare le patine algali o il materiale organico attaccato al substrato.
- Predatori: sono organismi carnivori, predatori di altri invertebrati d'acqua dolce oppure parassiti di vertebrati di dimensioni superiori.

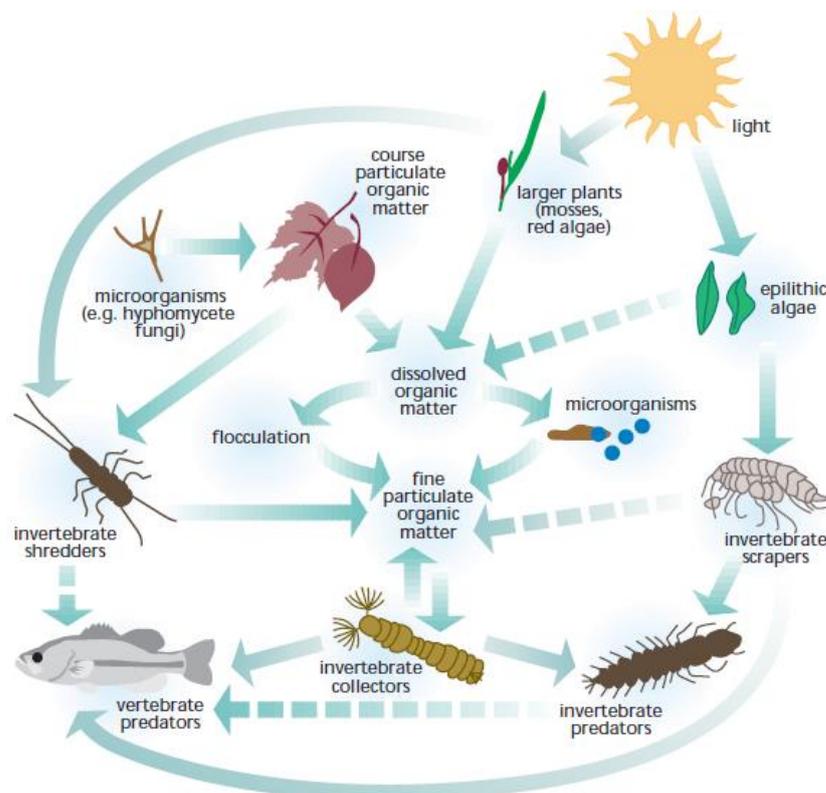


Fig.6-1: Relazioni trofiche che tipicamente si trovano in un corso d'acqua (FISRWG - *Federal Interagency Stream Restoration Working Group*, 1998).

È inoltre importante sottolineare che gli organismi di questa comunità costituiscono la maggiore fonte di cibo per gli altri predatori acquatici quali i pesci, si cita ad esempio la dipendenza dimostrata nel rio del Lago di Fusine tra la trota fario e i macroinvertebrati bentonici (Pizzul et al., 2010); pertanto, il fatto che questa comunità sia particolarmente sensibile alle condizioni, e quindi anche alle sue variazioni, idrauliche e geomorfologiche di un'asta, fa sì che esse costituiscano una delle principali forme di impatto indiretto per modifica delle caratteristiche biotiche discusse al paragrafo 3.2.3.

Conclusa la parentesi sul lessico, il concetto di continuum fluviale viene introdotto ipotizzando, come in parte accennato, che (Vannote et al., 1980):

- lungo l'asta principale le variabili fisiche del sistema di flusso quali larghezza, profondità, velocità, portata, temperatura e guadagno di entropia variano secondo un gradiente continuo;
- il sistema biologico si adatta a quello fisico, quindi, con gradiente continuo, le comunità biotiche si adeguano rapidamente a eventuali cambiamenti nella redistribuzione di uso di energia cinetica dal sistema fisico.

Tenendo presenti queste due ipotesi, basandosi prevalentemente sulla larghezza delle aste di un reticolo, l'habitat lotico può essere suddiviso come segue:

- zona di sorgente (*Headwater*): composta da tutte le aste con ordine di Horton - Strahler $\omega = 1 \div 3$;
- ruscelli di medie dimensioni (*Midreach*): composta da tutte le aste con ordine $\omega = 4 \div 6$;

- fiumi di grandi dimensioni (*Lower Reach*): composta da tutte le aste con ordine $\omega > 6$.

Alla luce di quanto appena detto, si assume che la variazione delle comunità lotiche lungo il corso d'acqua, in funzione delle sue dimensioni, seguano l'andamento riportato in figura (Fig.6-2):

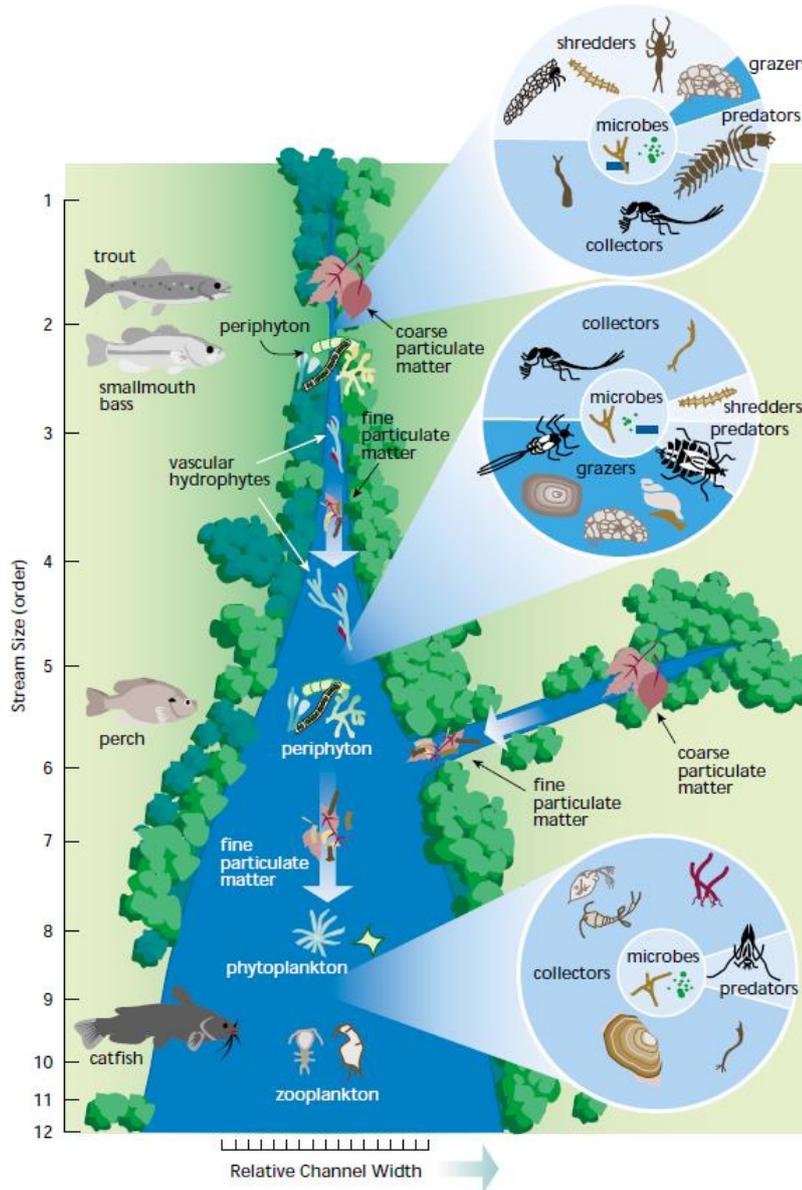


Fig.6-2: Relazione proposta tra le dimensioni dell'asta (ordine e larghezza) e la variazione delle comunità lotiche presenti in essa (Vannote et al., 1980).

Senza entrare nel dettaglio si nota che:

- o nel tratto più a monte dell'asta, avente ordine 1 e larghezza ridotta, o in alcuni documenti (ISPRA, 2007) direttamente nell'*Headwater*, l'ecosistema è fortemente influenzato dall'elevata presenza di vegetazione ripariale che, ombreggiando l'asta, riduce la produzione autotrofa, quantificata con *R*: *Respirazione delle comunità*, delle piante/alghe che sono i produttori fotosintetici presenti nell'asta. Al suo posto fornisce grandi quantità di detriti alloctoni cioè esterni all'asta, come ad esempio le foglie detto CPOM (*Coarse Particulate Organic Matter*) che verrà quantificato come *P*: *Produzione primaria*.

Per quanto detto in tali zone si avrà un rapporto $P/R < 1$ ossia un metabolismo fluviale eterotrofico ed in generale non sono presenti pesci (*No fish zone*).

Per quanto riguarda le comunità di invertebrati questa è dominata dai trituratori e dai collettori, mentre i pascolatori sono poco rappresentati non avendo alimentazione;

- muovendosi verso valle, con l'aumento delle dimensioni dell'asta, si riduce l'importanza dell'ingresso organico terrestre mentre aumenta la produzione del primario autoctono e del trasporto organico da monte.

Quest'ultimo, in quanto composto prevalentemente dalle feci degli invertebrati che si sono nutriti del CPOM e da CPOM sminuzzato dai trituratori, possiede dimensioni inferiori al CPOM e pertanto viene chiamato FPOM (*Fine Particulate Organic Matter*).

Per quanto riguarda le comunità biologiche aumentano i pascolatori a scapito dei trituratori, mentre i collettori continuano ad abbondare mangiando FPOM.

In questi tratti si avrà un rapporto $P/R > 1$ ossia metabolismo fluviale autotrofico dove ovviamente il limite di questa transizione non è fissato ma è principalmente dipendente dal grado di ombreggiatura e quindi dalla vegetazione riparia (Minshall 1978); quindi a seconda dell'ambiente in cui ci si trova, che influenza presenza e tipo di vegetazione, questo limite si può osservare per ordini $\omega = 1 \div 3$ e quindi sicuramente si ricade in questa situazione nel *midreach* (ISPRA, 2007);

- procedendo ulteriormente verso valle, ai fiumi di grandi dimensioni (o *lower reach*) giungono grandi quantità di FPOM da lavorazione a monte di foglie morte e detriti legnosi. L'effetto della vegetazione ripariale è insignificante, ma la produzione primaria può spesso essere limitata dalla profondità e torbidità; questo fatto porta solitamente ad avere nuovamente $P/R < 1$.

La comunità biologica è fortemente dominata dai collettori;

- il sistema quando un affluente si immette in un'asta di ordine medio-elevato gli effetti saranno locali e comunque limitati ad un incremento di FPOM.

Il *River Continuum Concept*, può essere quindi riassunto attraverso gli andamenti (lungo l'asta principale) dei rapporti P/R e $CPOM/FPOM$ dei quali l'andamento ipotetico conseguente ai punti pocanzi descritti viene riportato in figura seguente (Fig.6-3):

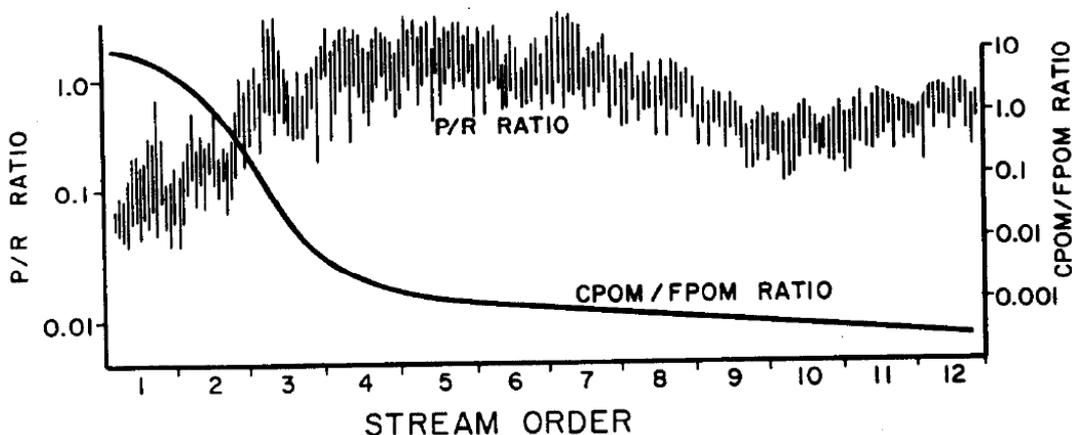


Fig.6-3: Ipotetico andamento dei rapporti P/R e $CPOM/FPOM$ lungo il continuum fluviale in funzione dell'ordine dell'asta (Vannote et al., 1980).

È quindi chiaro che il concetto del continuum fluviale consiste schema rappresentativo ideale in quanto in realtà il gradiente e quindi le transizioni non sono costanti e gradualmente ma spesso bruschi e dettati da discontinuità e soprattutto uno schema generale dell'ecosistema fluviale che poi andrà adattato al caso in esame arricchendolo delle sue particolarità locali (ISPRA, 2007); ad esempio, per quanto riguarda il bacino idrografico del torrente Slizza, ricordando la classificazione gerarchica svolta al capitolo 1 della tesi, si potrebbe dire che:

- il bacino idrografico è ricco di aste di ordine 1 per le quali oltretutto è stato sottolineato il carattere fortemente torrentizio e intermittente. Tali aste, fatta eccezione per quelle che forniscono habitat riproduttivo evidenziate nel capitolo precedente, possono essere ipotizzate come zone *No-Fish*;
- essendo quello del bacino idrografico dello Slizza un ecosistema fluviale caratterizzato da marcate variazioni fisiche, soprattutto, essendo torrenti, di portata ma anche della quota che influenza la vegetazione ripariale, esso sarà contraddistinto da un'elevata diversità biologica;
- il bacino è di ordine Ω pari a 5 e quindi non presenterà mai le caratteristiche dei grandi fiumi ma avrà quelle dei tratti di *headwater* e *midstream* spesso influenzate dalla frequente immissione di affluenti.

Tuttavia una cosa fondamentale che il *River Continuum Concept* mette in evidenza è che le comunità acquatiche ed il metabolismo fluviale non sono determinati solo dalle condizioni locali, ma anche dai processi che si verificano nei tratti a monte (ISPRA, 2007); questo implica che introducendo una perturbazione come sono derivazioni, sbarramenti, ecc... nello schema gli effetti non saranno locali ma si propagano a monte e soprattutto a valle della stessa influenzando l'habitat e la biodiversità in tutte le sue scale (Fig.6-4).

Infatti è chiaro che, se la perturbazione fosse troppo intensa in termini di portata e materia organica sottratta, l'effetto provocato sarebbe quello di un "resetting" del processo evolutivo del continuum fluviale stesso che, non ricevendo quanto atteso da monte, si troverebbe a dover riiniziare da un nuovo *headwater* che sarà posto a valle della perturbazione con evidenti ripercussioni su tutta la biodiversità della zona; ripercussioni che tuttavia saranno poi ridotte in funzione della distanza a cui viene eseguita la restituzione e del livello di trattamento a cui sono stata soggetta la portata derivata.

Intuitivamente, per evitare tale fenomeno di frammentazione del continuum fluviale, è necessario che, qualunque sia la perturbazione, sia sempre garantito un quantitativo minimo di portata tale da consentirne la continuità e lo sviluppo dell'ecosistema.

Quanto appena detto è essenzialmente l'idea alla base del concetto di Deflusso Minimo Vitale e che ne ha prodotto la definizione ed utilizzo.

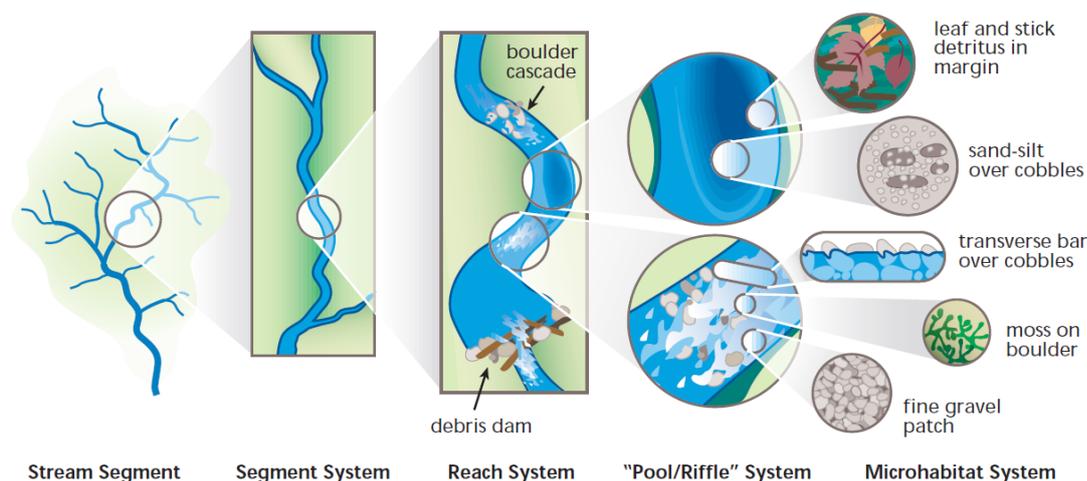


Fig.6-4: Organizzazione gerarchica del reticolo idrografico e habitat presenti su varia scala (FISRWG, 1998).

6.2. Il concetto di Deflusso Minimo Vitale (DMV).

6.2.1. Aspetti generali.

Come visto nel paragrafo 3.2.3 del presente elaborato (si veda Fig.3-6), come qualunque ecosistema naturale, anche quello fluviale descritto nel paragrafo precedente è generato dall'interazione tra fattori abiotici e biotici che di fatto dà origine ai vari habitat.

Ovviamente, come tutti i sistemi naturali, questi fattori sono caratterizzati da una condizione di equilibrio; un equilibrio che tuttavia può essere definito dinamico in quanto continuamente in evoluzione per adattarsi ai numerosi cambiamenti di origine naturale e/o antropica che coinvolgono il sistema.

Sicuramente la maggiore tra queste perturbazioni si può identificare nella variazione di regime del corso d'acqua che inevitabilmente influenza sia i fattori biotici che abiotici; tali variazioni possono essere dovute a cause sia naturali come le variazioni del regime pluviometrico ma sono soprattutto antropiche come ad esempio le opere di derivazione.

Il problema sorge quando la sottrazione di portata, che è sempre proporzionale ai benefici economici conseguenti, diviene tale da rendere impossibile il raggiungimento del suddetto equilibrio e quindi compromettere la sopravvivenza dell'ecosistema fluviale.

In effetti, avendo descritto nei paragrafi precedenti le comunità ittiche ed il *River Continuum Concept*, è possibile fare alcune precisazioni riguardo l'impatto ambientale legato ad una sottrazione di portata che è stato già in parte trattato al paragrafo 2.3 del presente elaborato.

Rifacendosi allo schema riassuntivo seguente (Fig.6-5) è evidente come, trascurando quello diretto dovuto agli sbarramenti, l'impatto causato da una riduzione della portata, consista prevalentemente in una modifica dei fattori edafici, tra loro spesso interconnessi, dell'ecosistema quali il contenuto d'ossigeno, la temperatura dell'acqua, la granulometria del substrato, la velocità ed il tirante della corrente.

Purtroppo tutte queste modifiche si ripercuotono sulle comunità fluviali presenti sulle quali quindi l'effetto della derivazione risulta indiretto che ne dipendono in maniera naturale; in generale è possibile dire che la sottrazione di portata agisce sulla biocenosi scombusolandone gli habitat ed i cicli biologico/stagionali.

Si ricorda ad esempio che le comunità bentoniche risentono fortemente dalla composizione granulometrica del substrato che di fatto costituisce il loro habitat mentre si è visto che ogni specie ittica necessitava per la sopravvivenza ed in particolare per la riproduzione, di precise condizioni di temperatura, contenuto d'ossigeno, velocità e profondità della corrente che, come dimostra lo schema seguente, risultano inevitabilmente alterate.

Questi effetti, sovrapposti a quello più intuitivo di riduzione fisica dell'ambiente acquatico, intendendo per questo sia la sezione liquida che la superficie di fondo, ed a quello di riduzione capacità auto-depurante dell'asta dovuta sia alla riduzione di velocità ma anche della riduzione dei micro-organismi specifici/dedicati producono sicuramente un'alterazione sia qualitativa cioè una riduzione delle specie presenti e quindi della biodiversità che quantitativa cioè una riduzione della numerosità delle popolazioni, delle comunità fluviali con conseguente sconvolgimento di quella che è la catena trofica.

In altri termini, su scala più ampia, ricordando che il *River Continuum Concept* si basa proprio sull'evoluzione continua delle comunità biologiche, in particolare bentoniche, e del loro habitat, per quanto appena detto è ovvio che, una sottrazione di portata troppo ingente, potrebbe sicuramente compromettere e quindi frammentare tale processo.

Quindi, come più volte nel corso dell'elaborato, vista la crescente sensibilità ai temi ambientali maturata negli ultimi anni, al fine di evitare che si verificassero condizioni di questo tipo, è stato introdotto in Italia per la prima volta nel 1989 il concetto di Deflusso Minimo Vitale come strumento, sicuramente necessario ma non sempre sufficiente, per migliorare e soprattutto regolare la gestione delle risorse idriche.

Pertanto il DMV si basa sugli obiettivi di conservazione, miglioramento e ripristino dell'ecosistema fluviale di un'asta attraverso la garanzia della sua continuità; è infatti noto e dimostrato che il rilascio continuo di questa portata produce esclusivamente effetti benefici quali (Bertoli et al., 2016):

- conservazione dello stato di fatto in corsi in cui il deflusso è bene regolato;
- ringiovanimento delle comunità ittiche in tratti in cui il deflusso è ben regolato;
- un aumento dell'accessibilità dell'habitat alle specie acquatiche delle aste precedentemente prosciugate che, a lungo termine, può portare anche ad un ripopolamento dei pesci;
- una ricolonizzazione dei tratti più montani del reticolo idrografico.

Si ricorda nuovamente che, affinché tutto ciò avvenga, oltre al rilascio del DMV bisogna assicurare anche la percorribilità del continuum e quindi il superamento dell'eventuale sbarramento attraverso i manufatti di risalita dell'ittiofauna che pertanto vengono chiamati corridoi ecologici.

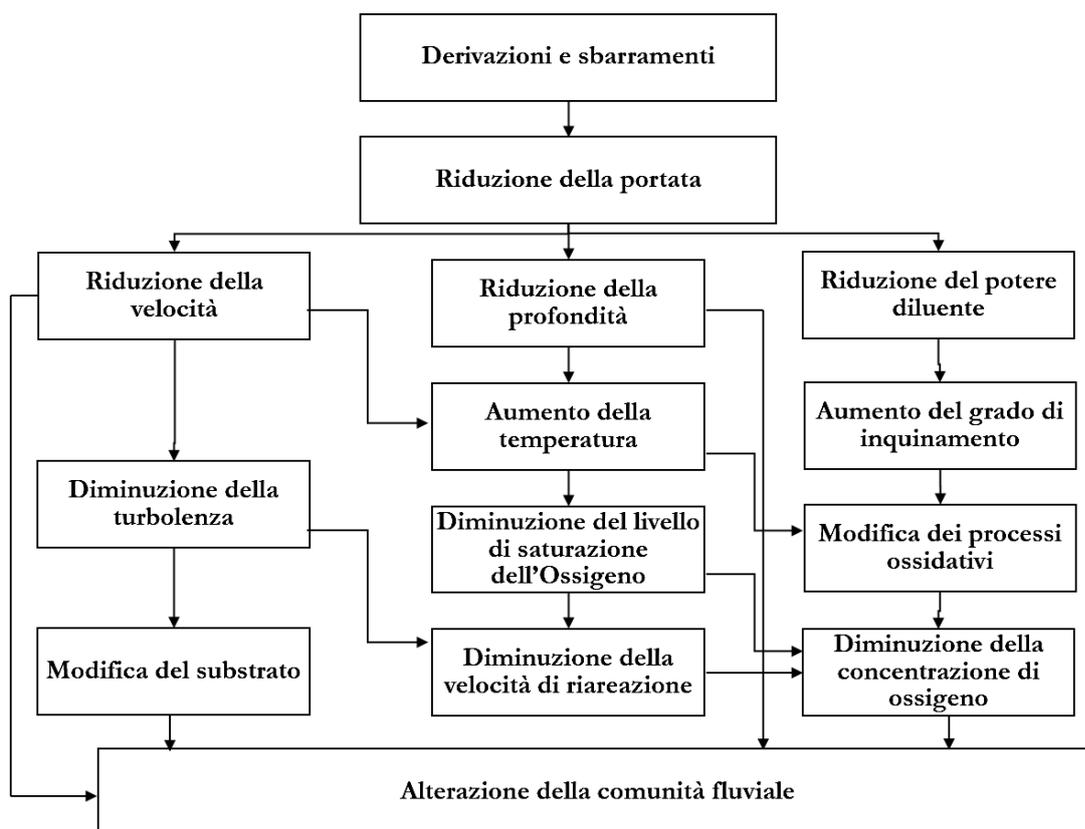


Fig.6-5: Impatti ambientali sull'ecosistema fluviale dovuti alla riduzione di portata (ridisegnato da Crosa et al., 1988).

Rifacendosi alla sua definizione normativa più recente, nell'Art.7.1 del Decreto del Ministero dell'ambiente e del territorio del 28 luglio 2004, il DMV viene definito come "...la portata istantanea da determinare in ogni tratto omogeneo del corso d'acqua, che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua, chimico-fisiche delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi (comunità delle specie di un ecosistema) tipiche delle condizioni naturali locali."

Dove, a rigore, per:

- "salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua" deve intendersi *il mantenimento delle sue tendenze evolutive naturali (morfologiche ed idrologiche), anche in presenza delle variazioni artificialmente indotte nel tirante idrico, nella portata e nel trasporto solido;*
- per "salvaguardia delle caratteristiche chimico-fisiche e delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali delle acque", deve intendersi invece *"il mantenimento, nel tempo, dello stato di qualità chimica e ecologica delle acque, tale da consentire il perseguimento degli obiettivi di qualità individuati ai sensi degli artt. 76, 77, 78 e 79 del Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006, di recepimento dell'art. 4 della Direttiva Quadro Acque."*

È importante che questa definizione non vada confusa con quella recente e più generale di Deflusso Ecologico (DE) che viene definito nel D.D. MATTM n.30 del 13/02/2017 "Approvazione delle Linee Guida per l'aggiornamento dei metodi di determinazione del deflusso minimo vitale al fine di garantire il mantenimento nei corsi d'acqua del deflusso ecologico" in cui viene definito come "...il regime idrologico che, in un tratto idraulicamente omogeneo di un corso d'acqua, appartenente ad un corpo idrico così come definito nei Piani di Gestione dei distretti idrografici, è conforme col raggiungimento degli obiettivi ambientali".

Si nota quindi che la differenza consiste nel fatto che il DMV è una portata istantanea mentre nel DE si fa riferimento al regime idrologico e quindi all'andamento temporale del DMV nel tempo.

È subito evidente come, il tema del DMV, sebbene trattato anche in letteratura, debba il suo maggiore sviluppo proprio all'evoluzione normativa sia a livello europeo ma anche nazionale e regionale; proprio per questa ragione nel paragrafo successivo si fornirà un breve riassunto del quadro normativo riguardante il DMV con particolare attenzione per il suo calcolo nel Friuli Venezia Giulia.

6.2.2. Il quadro normativo.

6.2.2.1. Quadro normativo Italiano.

Il concetto di Deflusso Minimo Vitale (DMV) dei corsi d'acqua superficiali è stato introdotto per la prima volta nel quadro giuridico italiano dalla Legge n.183 del 1989 "*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*", la quale, all'Art.3.1, fissa tra gli obiettivi dell'attività di programmazione, pianificazione ed attuazione, "*...la razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali e profonde ...garantendo, comunque, che l'insieme delle derivazioni non pregiudichi il minimo deflusso costante vitale negli alvei sottesi...*".

Si nota che, sebbene in termini più generali, già nella sua prima definizione risulta perfettamente centrato l'obbiettivo ancora attuale del DMV; tuttavia successive revisioni hanno considerato fuorviante l'utilizzo nella definizione del termine "costante", infatti assente in tutte le sue successive definizioni, il quale era riferito alla presenza del DMV e non al suo valore che ovviamente varierà in funzione del regime idrologico.

Di conseguenza il tema è stato ripreso dal D.L. 275 del 1993 nell'Art.12 bis ma in maniera significativa solamente dalla L. n.36 del 5 gennaio 1994 "*Disposizioni in materia di risorse idriche*", la quale:

- nell'Art.3.1, dispone che "*gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse per non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici*".
- nell'Art.3.3, prevede che "*nei bacini idrografici caratterizzati da consistenti prelievi o da trasferimenti, sia a valle che oltre la linea di displuvio, le derivazioni sono regolate in modo da garantire il livello di deflusso necessario alla vita negli alvei sottesi e tale da non danneggiare gli equilibri degli ecosistemi interessati*".

Come si nota, oltre a precisare meglio l'obbiettivo del DMV legandolo più espressamente al concetto di sostenibilità, non sono più utilizzati i termini "*minimo*" ed "*costante*" che, come detto in precedenza, vennero considerati fuorvianti.

Ulteriori miglioramenti che è necessario segnalare si riscontrano nel D. Lgs. n.152 del 1999 detto "Testo Unico sulle Acque", nel quale il DMV viene definito come fattore essenziale da inserire nei piani di tutela; e nel suo aggiornamento proposto all'Art.22.4 del D.L. n.258 del 18 agosto 2000, n. 258, nel quale si prevede che *il Ministero dei lavori pubblici provvede...a definire, di concerto con gli altri Ministri competenti e previa intesa con la Conferenza permanente per i rapporti con lo Stato, le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano, le linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive di criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale*".

Quest'ultima considerazione è importante in quanto evidenzia il fatto che la normativa nazionale, pur introducendo elementi innovativi e chiarificatori, non suggerisce alcuna procedura operativa per la stima del DMV; compito che solo nel 2000 viene assegnato al Ministero ed agli altri enti collaboranti quali regioni e provincie con relative autorità di bacino.

Le linee guida sono state pubblicate nel 2004 nel decreto già citato nel paragrafo precedente nel quale è stata anche riportata la definizione di DMV ed in queste si sottolinea che i parametri da considerare per il calcolo del DMV sono:

- il regime idrologico del corso d'acqua;
- l'estensione del bacino idrografico;
- la qualità dell'acqua;
- la struttura morfologica dell'alveo;
- la permeabilità dei substrati dell'alveo;
- il regime pluviometrico del bacino imbrifero esprimibile dalle precipitazioni medie annue;
- la quota media del bacino imbrifero.

Per completezza si segnala solamente una definizione precedente riportata in una bozza del decreto in cui esso viene definito come *“la portata che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corso d’acqua, chimico-fisiche delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali”*.

Rispetto alla definizione ufficiale non viene specificato che il DMV è una portata istantanea da valutare per ogni tratto omogeneo.

Quindi, per quanto riguarda il contesto nazionale, l’ultimo riferimento normativo risulta essere il già citato D.D. MATTM n.30 del 13/02/2017 che come visto è volto ad innovare le metodologie di calcolo, introducendo il metodo MesoHABSIM, senza modificarne l’ormai consolidata definizione.

Infine non si può non citare la direttiva acque D.2000/60/CE che, nella sua visione di uso sostenibile della risorsa idrica, si pone tra i vari obiettivi anche quello di *“impedire un ulteriore deterioramento delle risorse proteggendo e migliorando lo stato attuale di tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei, perché conservino le loro capacità d’autodepurazione e di sostegno a comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.”* che costituisce un chiaro sostegno al concetto di DMV.

Come già detto, sino al 2000, la normativa non ha mai fornito nessuna procedura di calcolo per la stima del DMV; osservando anche l’evoluzione delle definizioni, questa scelta è stata probabilmente causata, oltre che dalla complessità del problema, soprattutto dalla natura locale della grandezza che, visti anche i precedenti capitoli, dipende da un numero elevatissimo di variabili eterogenee, ossia di natura molto diversa tra loro e di conseguenza fortemente dipendenti dal tratto considerato.

Per questo motivo l’attuale definizione di DMV prevede che questo sia calcolato su tratti omogenei cioè con proprietà sostanzialmente costanti e per il quale il problema del suo calcolo viene assegnato ad enti non nazionali ma locali che oggi sono rappresentate dalle autorità di bacino distrettuali.

6.2.2.2. Quadro normativo della Regione Friuli Venezia Giulia.

Coerentemente con quanto visto su scala nazionale, in regione, il primo metodo di calcolo venne introdotto nella L.R. del Friuli Venezia Giulia n.28 del 27/11/2001 *“Attuazione del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di deflusso minimo vitale delle derivazioni d’acqua”* (oggi quasi completamente abrogata) dove nell’Art. 3 si definisce in via transitoria:

$$Q_{DMV} = 4 \frac{l}{s} \cdot S [km]$$

Dove S è la superficie del bacino sotteso dalla sezione nella quale si esegue il calcolo.

Un successivo metodo consistente in una modifica del metodo proposto dalla Confederazione Elvetica venne proposto dall’ex-Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia (ex-ABR) attraverso la delibera n.4/2007 nella quale si afferma che, nei bacini idrografici collinari e montuosi, il DMV si calcola come segue:

$$Q_{DMV} = C_L \cdot Q_{DMV}^{CH} \quad \text{con} \quad C_L = 1 + 0.075 \cdot D [km]$$

Dove:

- Q_{DMV}^{CH} è la portata di DMV calcolata col metodo Svizzero (si veda paragrafo 6.4.1);
- C_L è un coefficiente adimensionale che tiene conto della lunghezza del tratto sotteso dalla derivazione;
- D è la lunghezza del tratto sotteso, ovvero la distanza tra l’opera di presa e di restituzione, espressa in km.

Dalla formula si nota che questo metodo, tende a dare gli stessi risultati del metodo Svizzero per $D \rightarrow 0$ cosa che si verifica sovente negli impianti ad acqua fluente.

A rigore, entrambi questi metodi di calcolo sono oggi superati in quanto si può affermare che, per quanto riguarda la regione Friuli Venezia Giulia, il tema del DMV ad oggi viene essenzialmente concentrato nel PRTA che discende direttamente dagli obiettivi imposti dalla Direttiva Acque.

Questo perché, con l'avvento della D.2000/60/CE e la sua ricezione in Italia (D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152), tutte le precedenti norme regionali riguardanti il DMV sono state abrogate (come visto in precedenza) o adattate agli obiettivi del piano; tra quest'ultime è interessante citare la L.R. 19/1971 che, oltre a istituire l'ETP, nell'Art.4.bis dice: *“al fine di raggiungere o mantenere gli obiettivi di qualità ambientale indicati dalla parte terza del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale), e dalla direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, l'Ente tutela pesca valuta che sussistano le condizioni per la conservazione o il ripristino della funzionalità dell'ambiente acquatico e delle biocenosi caratteristiche della tipologia del corpo idrico interessato. Se necessario, l'Ente tutela pesca prescrive soluzioni per il mantenimento, sia del deflusso necessario alla vita degli organismi acquatici, sia della continuità idrologica e biologica”*.

Questo articolo è importante soprattutto per quanto riguarda il binomio DMV – passaggi per pesci ed il suo rapporto con l'ETP, motivo per cui verrà richiamato ed analizzato più in dettaglio nei successivi capitoli.

Un altro riferimento normativo è costituito ovviamente dalla già citata (si veda paragrafo 2.1 dell'elaborato) L.R. 11/2015 della quale l'Art.36 tratta il rapporto tra DMV e derivazioni idriche; in questo si trova scritto *“Il DMV, necessario alla vita negli alvei sottesi al mantenimento della capacità di autodepurazione dei corpi idrici, alla conservazione degli equilibri degli ecosistemi interessati, nonché al mantenimento dell'equilibrio del bilancio idrico, è determinato per i corsi d'acqua o per i tratti di corsi d'acqua, dalla struttura regionale competente in materia di gestione delle risorse idriche, con le modalità indicate dal Piano regionale di tutela delle acque.”*.

Dall'estratto si nota che, oltre alla definizione del DMV, la legge rimanda al PRTA per il suo calcolo; inoltre proprio l'Art.10 della stessa disciplina l'iter di formazione, adozione e approvazione del PRTA. Poiché da un punto di vista giuridico, l'iter di approvazione del PRTA risulta abbastanza articolato, se ne riassumono le fasi come segue:

- Con la DGR n. 2000/2012, si adotta il Progetto di PRTA e stabilisce che le Misure di salvaguardia del PRTA sono alcuni degli articoli delle Norme di Attuazione del Progetto di PRTA stesso che vengono riportate come Allegato nella DGR.
In particolare è di interesse per l'elaborato la sola norma in Allegato 4 che tratta il calcolo del DMV;
- Negli anni successivi il Progetto di PRTA ha subito delle leggere modifiche che, senza entrare nel merito del metodo di calcolo, per quanto riguarda il calcolo del DMV nel bacino idrografico del torrente Slizza, riguardano esclusivamente una diversa classificazione di un breve tratto del rio del Lago del Predil immediatamente a monte della sua confluenza con il rio Freddo che nel 2014 viene considerato *tratto montano* anziché *tratto di fondovalle*.
- Con la DGR n. 2641/2014 e successivo decreto del Presidente n. 013 del 9 gennaio 2015 si approva il Progetto PRTA.
- Le modifiche cui si accennava nel punto precedente sono presenti nelle norme di attuazione Allegate alla DGR del 2014 che stavolta non sono state adottate come misure di salvaguardia del Piano.
Pertanto, fino ad approvazione del il PRTA (e non il suo progetto), il calcolo del DMV è stato svolto facendo riferimento alle misure di salvaguardia del 2012 e non le norme di attuazione del 2014;
- Con la DGR n. 2673/2017 si adotta il PRTA e, al punto 2 della medesima, si individuano le misure di salvaguardia delle Norme di attuazione del Piano che trovano applicazione dalla data di adozione della delibera.

La descrizione delle procedure di calcolo principalmente utilizzate ed ovviamente di quella attualmente vigente per il bacino idrografico oggetto d'esame saranno descritte in dettaglio nel paragrafo 6.4 del presente capitolo.

6.3. Approcci metodologici al calcolo del DMV.

Come visto, sino al 1999 il calcolo del DMV e quindi la scelta delle grandezze da coinvolgere per farlo è stato un problema lasciato completamente aperto dalla normativa, cosa che ha inevitabilmente comportato la nascita e l'utilizzo nel tempo di approcci metodologici molto diversi tra loro.

Ovviamente, l'assenza di metodi consolidati ed il riconoscimento su scala mondiale degli impatti legati alle alterazioni idrologiche dei corsi d'acqua, ha portato ad un rapido sviluppo, sia in normative che in letteratura, numerico di questi approcci; ad esempio già nei primi anni del millennio erano stati sviluppati circa 207 metodi in 44 paesi del pianeta (Tharme, 2003).

In questo contesto di molteplicità di metodologie sono state anche sviluppate diverse tipologie di loro classificazioni; tra queste, quella adottata di seguito è probabilmente la più diffusa in letteratura (Crovato, 2006; Tharme, 2003; Catanese, 2009; Özdemir et al., 2007).

Infatti è ormai chiaro che la variabilità degli scenari per vegetazione, comunità fluviali, regime idrologico, regime pluviometrico, grandezze idrauliche ecc... nei quali si sviluppa il calcolo del DMV è immensa e pertanto, a seconda numero e soprattutto del tipo di variabili coinvolte, sono stati sviluppati approcci che portano a metodi di calcolo generali, ovvero con campo di applicabilità vasto, oppure specifici, ossia campo di applicabilità ridotto a casi particolari.

Più rigorosamente, secondo tale logica, si distinguono tre indagini/approcci per il calcolo del DMV:

- indagine di tipo *teorico*: il DMV viene ricavato per via indiretta, attraverso la stima di parametri correlabili alla portata stessa. Questi parametri sono di tipo generale come ad esempio quelli che descrivono le caratteristiche del bacino e dell'alveo e quindi permettono la stima della portata in ogni condizione/contesto in cui essa è richiesta.

Si può considerare che appartengano a questa tipologia di indagine i seguenti approcci:

- *approccio idrologico*: I metodi idrologici sono degli approcci teorici nei quali si impiegano esclusivamente dati idrologici ed il DMV viene quasi sempre calcolato in funzione della portata di magra o di una sua frazione.

I vantaggi stanno nel fatto che, essendo teorici, l'applicazione è vasta, relativamente semplice e rapida; motivi sufficienti a renderli i metodi più numerosi ed utilizzati (si veda Fig.6-7). Tuttavia è necessario possedere i dati storici necessari che, come si è visto nel capitolo 4, non è cosa scontata per le portate, inoltre non si tiene conto del complesso insieme di variabili ambientali interdipendenti che concorrono a determinare l'habitat fluviale ed il suo ecosistema.

Può considerarsi un esempio il metodo Montana (Tennant, 1976) che verrà descritto in seguito.

- *approccio idrologico-morfologico*: I metodi idrologico-morfologici sono degli approcci teorici nei quali il DMV viene sempre calcolato in funzione di una grandezza idrologica che però è correlata a variabili di tipo geografico o morfologico come ad esempio l'area del bacino sottesa dalla sezione considerata.

Nuovamente si conservano gli stessi svantaggi/vantaggi dei metodi idrologici.

Può considerarsi un esempio il metodo proposto dalla regione Friuli Venezia Giulia e riportato al termine del paragrafo 6.2.2.2.

- *approccio statistico*: I metodi statistici sono degli approcci teorici nei quali il DMV viene sempre calcolato a partire dalla curva di durata delle portate, dalla quale viene estratta la portata relativa un numero di giorni di riferimento.

Nuovamente si conservano gli stessi svantaggi/vantaggi dei metodi idrologici.

Può considerarsi un esempio il metodo proposto dalla Confederazione Elvetica riportato nel paragrafo 6.4.1.

- indagine di tipo *sperimentale*: il DMV viene ricavato sulla base di parametri specifici poiché altrettanto specifico è l'obiettivo del suo rilascio o il contesto in cui viene calcolato. Questo approccio è ovviamente oggi meno comune, tuttavia è stato utilizzato quando il DMV serviva per la protezione di una specie; in tal caso la portata si ricava da una relazione tra una variabile idraulica o strutturale del corso d'acqua e le esigenze ecologiche della specie considerata.

Ovviamente tali metodi hanno una validità ridotta ai soli contesti e obiettivi analoghi a quelli per cui sono stati ricavati.

Si può considerare che questa tipologia di indagine sia essenzialmente composta dai cosiddetti *metodi biologici*. Questi sono degli approcci in cui, per il calcolo del DMV, si fa riferimento alle esigenze ambientali di una o più specie indicatrici della comunità biologica fluviale al fine di ottenere un legame tra la portata fluente nel corso d'acqua ed una grandezza biologica che solitamente è un valore di biomassa o, più recentemente, un indice di qualità dell'habitat.

Tale legame viene costruito a partire da misure sperimentali o da modelli di simulazione idraulica e graficamente si traduce in una curva in cui il punto di cambiamento di pendenza, detto punto di rottura, definisce il valore ottimale di portata ossia il DMV.

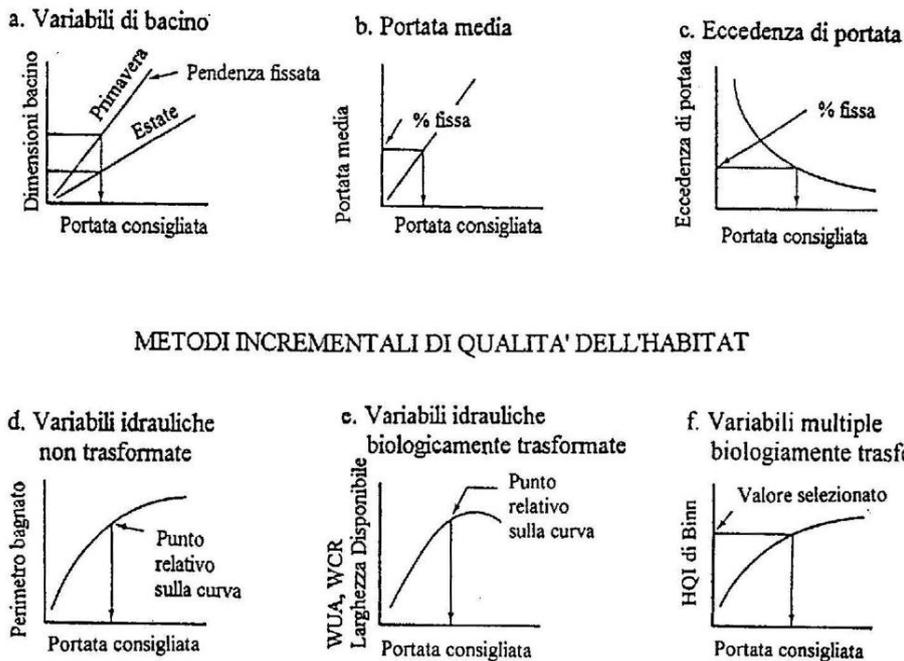
Il vantaggio principale di questi metodi, tipico di tutte le analisi sperimentali, è quello di fornire risultati che si riferiscono direttamente allo stato della comunità biologica acquatica, la cui attendibilità è certificata dalle campagne di misure svolte in sito.

Invece gli svantaggi consistono nella loro complessità, nell'elevato onere sperimentale e di post-elaborazione; dalla descrizione è evidente infatti che i risultati del modello devono essere ulteriormente elaborati per arrivare alla definizione di una portata di DMV.

Tuttavia, come si nota in figura (Fig.6-7, dove rientrano in *habitat simulation methodologies*), il loro sviluppo numerico, sostenuto in gran parte dalle normative nazionali e internazionali, è molto significativo.

- indagini di tipo *ibrido*: quando il metodo non appartiene alle precedenti tipologie di indagine. Si può considerare che appartengano a questa tipologia di indagine i seguenti approcci:
 - *approccio teorico ibrido*: sono dei metodi teorici, quindi di applicabilità generale che, attraverso l'aggiunta di parametri/input solitamente biologici vengono poi specializzati per il calcolo del DMV in determinati contesti come ad esempio uno specifico bacino idrografico;
 - *approccio olistico*: I metodi olistici sono approcci ibridi nei quali, dal nome stesso, si considerano in maniera integrata tutti i componenti dell'intero ecosistema fluviale dalla sorgente sino alla foce: asta, zona ripariale, attività circostanti, ecc.... Essi prevedono che per ciascuno o per la maggioranza di questi componenti siano assegnati dei criteri che permettano di individuare le condizioni critiche di deflusso; fatto ciò si procede ad una modifica incrementale del deflusso sino al raggiungimento delle condizioni critiche corrispondenti a particolari caratteristiche ecologiche, geomorfologiche, di qualità dell'acqua, sociali o altri obiettivi nel sistema. In questo modo resta quindi individuato il deflusso richiesto dall'intero ecosistema fluviale e non solo da specifiche specie, ossia il DMV.
Tali metodi nascono all'inizio degli anni '90 ed il loro sviluppo è stato fortemente sostenuto dagli ecologi delle acque interne soprattutto a visto il loro possibile utilizzo predittivo; tuttavia il loro uso è limitato dalla loro complessità in quanto, le metodologie olistiche più avanzate utilizzano regolarmente diversi strumenti di tipo idrologico, idraulico e di analisi dell'habitat fisico e quindi di conseguenza notevoli risorse, competenze e input multidisciplinari.

Quanto appena affermato risulta ben riassunto dalla figura (Fig.6-6) nella quale sono riportati gli andamenti del DMV in funzione della variabile principale del metodo secondo approcci teorici (a), (b) e (c) e sperimentali (d), (e) e (f); invece un'idea della ripartizione qualitativa dei metodi di calcolo su scala globale viene riportata in figura (Fig.6-7). Da quest'ultima è evidente la decrescita del numero di metodi sviluppati in funzione della loro complessità.



METODI INCREMENTALI DI QUALITA' DELL'HABITAT

Fig.6-6: Approcci utilizzati per determinare le portate minime vitali. *Metodi teorici:* (a) metodi che utilizzano le variabili di bacino, in questi l'aumento dei valori di queste variabili determina un aumento dei valori della portata minima richiesta; (b) la portata richiesta è una percentuale fissa della portata media; (c) la portata richiesta è uguale alla portata naturalmente eccedente per una percentuale fissa di tempo. *Metodi sperimentali:* (d) una variabile fisica misurabile viene posta in funzione della portata e l'individuazione del punto di rottura sulla curva determina la portata minima vitale richiesta; (e) un indice di preferenza adimensionale basato su variabili idrauliche fisiche viene posto in funzione della portata ed il picco o break-point o qualche altra caratteristica della curva è utilizzato come criterio per la portata minima; (f) il risultato di un modello predittivo di una variabile misurabile è posto in funzione della portata e la portata minima vitale viene determinata dal break-point o da qualche altra caratteristica della curva (Renoldi et al. 1995).

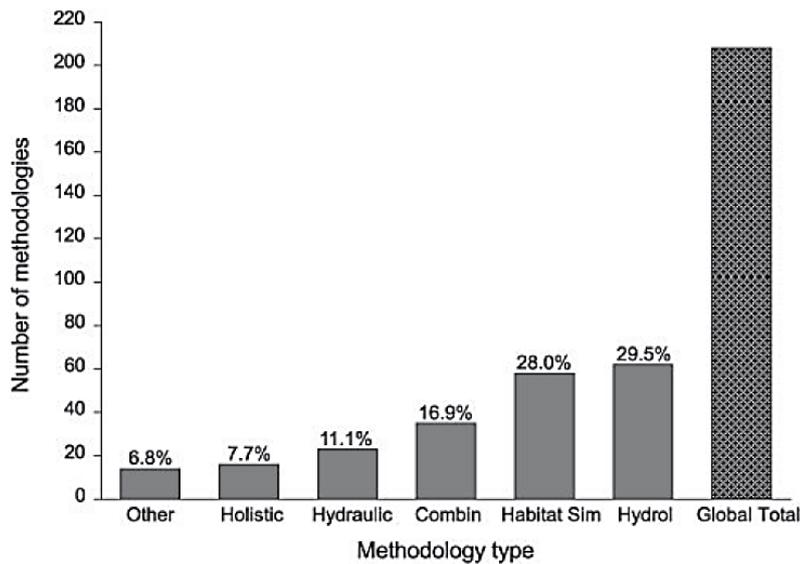


Fig.6-7: Numero dei metodi di calcolo per ogni tipologia di approccio – percentuali espressi sul totale dei metodi globali (da Tharme, 2003).

Per concludere l'inquadramento generale, nei paragrafi seguenti verranno descritti i principali metodi di calcolo teorici del DMV utilizzati in Europa e nel Mondo; tra i quali un maggior dettaglio sarà riservato per le due metodologie di calcolo, ossia il metodo Svizzero e del PRTA, che saranno successivamente utilizzate per il bacino idrografico del torrente Slizza.

Si trascurano volontariamente i metodi sperimentali che diluirebbero troppo il discorso non essendo nell'interesse dell'elaborato la loro sperimentazione; tra questi si fa un'eccezione per il già citato metodo del *MesoHABSIM* in quanto rappresenta la più recente innovazione sviluppata dal binomio Europa-Italia che presenta interessanti aspetti idrologico-idraulici.

Si ricorda che per normativa, il calcolo del DMV in suddetto bacino deve essere svolto seguendo il metodo proposto nel PRTA; tuttavia, al fine di avere un confronto utile per valutare la tendenza cautelativa/non cautelativa del metodo, si decide di ripetere il calcolo anche col metodo della Confederazione Elvetica che nel proseguo verrà abbreviato chiamandolo nome metodo Svizzero.

Per quanto riguarda tali metodi si può osservare che si basano entrambi su approcci teorici che consentono di sfruttare al meglio i dati idrologici a disposizione che si ricorda consistono nelle curve di durata ottenute da misure dirette svolte a Thörl e trasportate per similitudine idrologica nelle altre sezioni. Ovviamente, essendo metodi teorici, sono semplici e tranquillamente applicabili al bacino idrografico in esame; inoltre, considerando che il metodo proposto dal PRTA si ispira al metodo Montana (Tennant, 1976), si può dire che i entrambi metodi hanno un utilizzo ben consolidato.

6.4. Metodi di calcolo del DMV.

6.4.1. Il metodo Svizzero.

Il metodo di calcolo della Confederazione Svizzera è stato per la prima volta introdotto con la legge federale del 24 gennaio 1991 sulla protezione delle acque (detta *LEaux* o italianizzata *LPAC*) la quale è stata scritta dal legislatore con l'obiettivo di preservare il bene acqua da ogni azione dannosa (*Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage* – OFEFP, 2000).

In particolare, tale legge definisce il DMV come una portata di compromesso decente tra gli interessi ambientali di protezione delle acque rispetto a quelli economici delle derivazioni e che quindi va distinta dal deflusso minimo (DM o Q_{min}) che invece sarebbe la portata rimanente a seguito di una derivazione realizzata senza nessun compromesso.

Come già accennato, il metodo Svizzero è un metodo teorico di tipo statistico che si basa sulla conoscenza della curva di durata delle portate da cui si estrae il valore della portata indice Q_{347} che è l'unico input della procedura di calcolo.

Prima di descrivere il metodo è interessante fare subito due importanti osservazioni:

- come visto nel capitolo 4 della presente tesi, il valore di Q_{347} è tutt'altro che univoco in quanto, dato un certo periodo di osservazione, anch'esso possiede una propria distribuzione di probabilità dovuta alla sua variabilità nei vari anni.

A tal proposito, sebbene la *LEaux* fornisca delle indicazioni ovvero una definizione ben precisa sul suo calcolo, negli anni seguenti l'entrata in vigore della stessa legge, tale questione riguardante la valutazione della Q_{347} è diventata oggetto di un acceso dibattito, sostenuto soprattutto dal Servizio Idrologico e Geologico Nazionale svizzero (SIGN) che alla fornisce delle vere e proprie linee guida per il metodo Svizzero.

Questo tema, compresa la prima definizione fornita dalla *LEaux*, verrà affrontato in maniera dettagliata a fine paragrafo;

- sebbene la Q_{347} sia a rigore il valore di portata uguagliato o al più superato nel 95% dei giorni dell'anno, la normativa Svizzera considera a regime permanente i corsi d'acqua aventi portata $Q_{347} > 0$ (anziché $Q_{365} > 0$) il che sembrerebbe indicare un atteggiamento già meno cautelativo nei confronti delle derivazioni idriche.

Il metodo Svizzero è molto semplice dal punto di vista applicativo in quanto, nota la portata Q_{347} , il valore del DMV corrispondente viene ricavato direttamente dalla tabella seguente (Tab.6.4.1-I) dove, qualora il valore di Q_{347} fosse intermedio, si suggerisce di eseguire un'interpolazione lineare che graficamente si traduce nel legame riportato in figura (Fig.6-8).

È interessante osservare l'ultima colonna della tabella nella quale viene riportato il valore di DMV come percentuale della Q_{347} ; in questa si nota come coerentemente con la logica alla base del DMV, la

tendenza in Svizzera sia quella di preservare con maggior forza i piccoli corsi d'acqua essendo il rapporto decrescente con l'importanza del corso d'acqua.

Tab.6.4.1-I: Calcolo del DMV secondo il metodo Svizzero (da LEaux).

<i>Corso d'acqua</i>	Q_{347}	<i>DMV</i>	<i>DMV/ Q₃₄₇ (%)</i>
di debole importanza	≤ 60 l/s	50 l/s	83
di media importanza	per ogni +10 l/s	+ 8 l/s	81
	160 l/s	130 l/s	
	per ogni +10 l/s	+ 4.4 l/s	56
	500 l/s	280 l/s	
	per ogni +100 l/s	+ 31 l/s	36
	2500 l/s	900 l/s	
	per ogni +100 l/s	+ 21.3 l/s	25
10000 l/s	2500 l/s		
per ogni +1000 l/s	+ 150 l/s		
di grande importanza	≥ 60000 l/s	10000 l/s	-

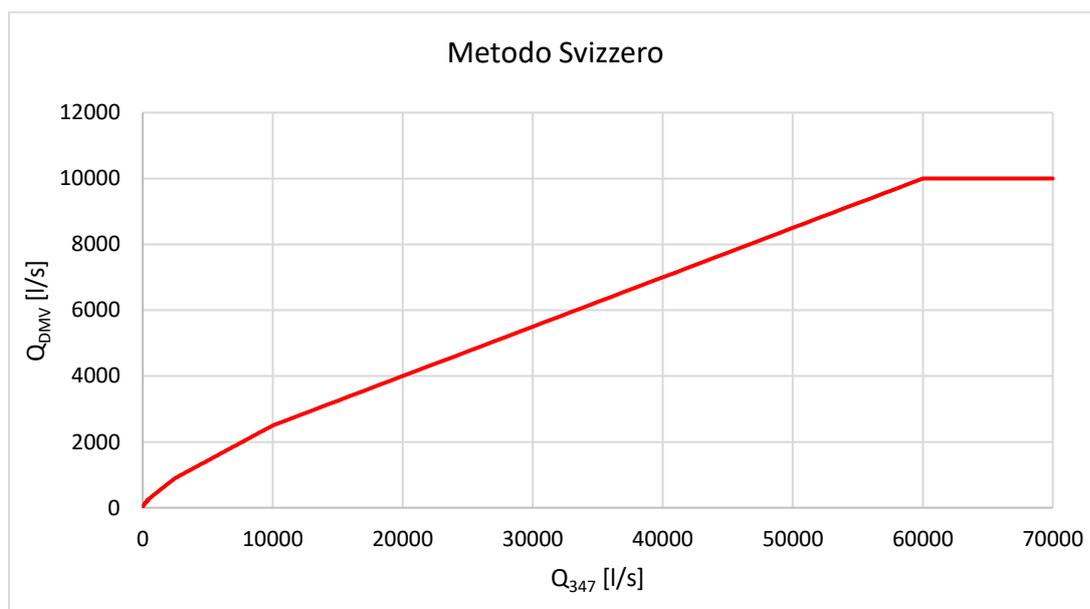


Fig.6-8: Grafico della correlazione $Q_{347} - DMV$ secondo il metodo Svizzero.

La stessa *LEaux* afferma che, se non vi si riesce in altra maniera, i valori riportati in tabella devono essere aumentati al fine di adempiere alle seguenti esigenze:

- la qualità prescritta delle acque superficiali deve essere mantenuta nonostante i prelievi d'acqua e le immissioni esistenti di acque di scarico;
- l'alimentazione delle falde freatiche deve essere assicurata in modo tale da garantire i prelievi necessari per l'approvvigionamento in acqua potabile e da non pregiudicare sensibilmente il bilancio idrico dei suoli sfruttati a fini agricoli;
- i biotopi e le biocenosi rare che dipendono direttamente o indirettamente dal tipo e dalle dimensioni del corso d'acqua devono essere conservati o, se ragioni perentorie non lo permettono, sostituiti, secondo le possibilità, con altri di uguale valore;
- la profondità d'acqua necessaria alla libera migrazione dei pesci deve essere assicurata;

- per i corsi d'acqua con una portata Q_{347} pari o inferiore a 40 l/s, siti a meno di 800 metri di altitudine e che servono come luogo di fregola o come regione d'allevamento di pesci, dev'essere garantito che detta funzione sia salvaguardata.

Il fatto la norma stessa sottolinei che esista la possibilità di non rispetto di questi requisiti, che sono l'obiettivo fondamentale, anche rilasciando il DMV, sembrerebbe indicare nuovamente che questo metodo potrebbe essere non cautelativo.

Ovviamente la tabella precedentemente riportata rappresenta una versione semplificata del metodo essendo nient'altro che un insieme di valori pre-calcolati di DMV; il loro calcolo, e quindi il metodo Svizzero "rigoroso", è stato svolto basandosi sulla formula empirica di Matthey, sviluppata negli anni '70 sulla base di osservazioni svolte su corsi d'acqua del Canton Vaud al fine di proteggere l'industria della pesca (Eslamian, 2017).

La formula originale di Matthey calcola il DM come segue:

$$Q_{DM} = 15 \cdot \frac{Q_{300}}{(\ln Q_{300})^2}$$

Dove:

- Q_{DM} è la portata minima rilasciata a valle della derivazione definita ad inizio paragrafo;
- Q_{300} è la portata uguagliata o superata per 300 giorni all'anno.

Al fine di calcolare il DMV come in precedenza, ricordando che esso è, rispetto al DM, una portata di compromesso, la legge Svizzera, come fatto da altri paesi alpini, modifica la formula di Matthey in tale modo (Commissione geotecnica svizzera e il Commissione idrologica dell'Accademia svizzera delle scienze, 1989):

- per i corsi d'acqua di debole importanza l'equilibrio ecologico è assai instabile per cui l'utilizzo dell'acqua non è possibile se non si conserva una portata superiore a 50 l/s;
- per i corsi d'acqua di media importanza:
 - se $60 \text{ l/s} \leq Q_{347} \leq 160 \text{ l/s}$, la formula di Matthey è considerata inadeguata in quanto restituisce valori di $DM > 0.8 \cdot Q_{347}$ e quindi è troppo cautelativa essendo questi corsi d'acqua molto sfruttati da derivazioni idroelettriche. In questo caso il DMV si fissa pari all'80% di Q_{347} ;
 - se $160 \text{ l/s} \leq Q_{347} < 60000 \text{ l/s}$, la formula di Matthey è considerata adeguata ma in essa il valore Q_{300} viene sostituito da Q_{347} ;
- per i corsi d'acqua di grande importanza si conserva una portata di 10000 l/s;
-

In questo modo, sviluppando i calcoli, la normativa fornisce i valori riportati nella precedente tabella.

Esposto il metodo, rimane da chiarire il problema sul calcolo della portata Q_{347} da utilizzare; come già accennato, la questione è stata delegata ed affrontata prevalentemente dal SIGN Elvetico, che fornisce delle importanti indicazioni/linee guida nel documento "*Le débit d'étiage Q_{347} – Etat de la question*" del 1999.

Questo documento sarà preso come riferimento in quanto, oltre alla scelta della Q_{347} , affronta anche il tema della sua valutazione in sezioni non strumentate, condizione in cui ricadono tutte le sezioni d'interesse nel bacino idrografico del torrente Slizza.

Il dibattito può essere brevemente riassunto richiamando la definizione della Q_{347} proposta dalla LEaux a cui si faceva riferimento ad inizio paragrafo: "*la portata, determinata su un periodo di dieci anni, che è raggiunta o superata in media durante 347 giorni all'anno e non è sensibilmente influenzata né da sbarramenti, né da prelievi, né da apporti d'acqua.*".

La definizione fornisce due importanti indicazioni:

- per il calcolo del DMV deve essere utilizzato il valore medio della distribuzione di probabilità delle Q_{347} . Rispetto a quanto visto nel capitolo 4 quindi, la normativa Elvetica non fa riferimento al valore mediano che tuttavia è utile tenere in considerazione anche per mere operazioni di confronto;
- per il calcolo del DMV la distribuzione di probabilità delle Q_{347} da considerare è quella relativa ad un periodo di osservazione di 10 anni.

Si intuisce che, mentre la prima osservazione lascia pochi dubbi, la maggior parte della discussione si sia concentrata secondo punto; questo infatti deriva dalla frase "...determinata su un periodo di dieci anni..." che, così messa è alquanto fuorviante in quanto sembrerebbe lasciare la possibilità di selezionare dieci anni per un calcolo di convenienza del DMV.

Infatti, i successivi studi ricordano che in realtà il Consiglio Federale già nel 1987 aveva precisato che il periodo di 10 anni da considerare per la stima della media deve essere il più possibile recente.

Questo vincolo, visto che lo scopo è quello di stimare un valor medio della Q_{347} , sembrerebbe un assurdo statistico perché, pur sapendo che la consistenza della stima aumenta con la numerosità del campione, non permette di sfruttare l'intero periodo di osservazione qualora fosse superiore a 10 anni; in realtà viene imposto proprio per non considerare gli eventuali effetti a lungo termine dei cambiamenti climatici o altri fattori che possono inficiare la stima.

In altri termini l'obiettivo è quello di avere una stima della Q_{347} che rispecchi il più possibile il regime idrologico di magra attuale dal quale invece si potrebbe divergere qualora si computassero anche i valori relativi ad anni troppo lontani; infatti, qualora il trend dovuto ai cambiamenti climatici fosse crescente, l'assunzione di un periodo di osservazione troppo ampio produrrebbe una stima certamente non cautelativa della Q_{347} poiché il DMV associato sarebbe più basso.

Tuttavia, al fine di fornire una procedura generale anche in presenza di periodi di osservazione superiori ai 10 anni, il SIGN della Confederazione Svizzera suggerisce di procedere come segue:

- si costruisce l'andamento cronologico delle Q_{347} nell'intero periodo di osservazione e si ricerca la retta di tendenza;
 - se vi è assenza di un trend significativo il valor medio di Q_{347} può essere stimato considerando l'intero periodo di osservazione;
 - se il trend non è trascurabile è possibile ancora stimare il valore medio di Q_{347} sull'intero periodo ma il campione delle portate deve essere precedentemente de-trendizzato.
- Quest'ultima elaborazione è sicuramente sconveniente ed infatti anche la normativa Elvetica suggerisce di ridurre l'intervallo di osservazione ai 10 anni più recenti.

È necessario precisare che finora è stato dato per scontato che si avessero a disposizione i dati per 10 o più anni di osservazione ma, come visto nel capitolo 4, anche in Svizzera questa è un'assunzione vera esclusivamente nelle sezioni strumentate.

Per risolvere tale problema, essendo il metodo nazionale, la Svizzera, appoggiandosi alle sezioni strumentate e sfruttando metodi di regionalizzazione, ha sviluppato delle apposite cartografie/GIS che consentono, in assenza di apposite campagne di misura e/o di studi dedicati, di stimare il valore di Q_{347} e cioè l'input per il calcolo del DMV in qualunque sezione di tutto il reticolo idrografico della Confederazione.

Questa soluzione non è ovviamente disponibile per il bacino idrografico del torrente Slizza nel quale tuttavia un servizio analogo è stato realizzato per la stima della Q_m che è alla base del metodo di calcolo di riferimento per la regione che è quello del PRTA; per cui nelle sezioni non strumentate si procederà all'utilizzo della similitudine idrologica in rapporto alle aree descritte nel capitolo 4.

In base a questa, sulle varie sezioni analizzate, sarà sempre disponibile un campione superiore ai 10 anni che quindi si analizzerà seguendo con la procedura descritta pocanzi dove gli andamenti cronologici avranno, per similitudine, tutti lo stesso trend ricavato a Thörl e riportato in figura Fig.4-30).

6.4.2. Il metodo Montana.

Il metodo Montana (Tennant, 1976) è il metodo teorico-idrologico più comunemente utilizzato su scala mondiale; infatti nel periodo 1989 ÷ 2003 sono state segnalate dagli studiosi tra le 16 e le 25 nazioni

che hanno correntemente utilizzato il metodo nella sua versione originale o modificata (Reiser et al. 1989 e Tharme, 2003).

Tale fatto, come intuibile dal paragrafo 6.3, deriva dall'ampio spettro d'utilizzo del metodo oltreché alla sua semplicità e rapidità; questi fattori fanno sì che il suo utilizzo nel territorio possa essere cresciuto anche nell'ultimo decennio come testimonia il fatto questo metodo è alla base del metodo del PRTA.

Questo metodo è stato sviluppato da Tennant in collaborazione con l'US Fish and Wildlife Service, a seguito di numerose osservazioni in sito su circa 100 tratti d'alveo negli stati del Montana, Wyoming e Nebraska, con l'obbiettivo principale di garantire la sopravvivenza della popolazione dei salmonidi.

Da queste indagini si è riconosciuto un legame tra la qualità ambientale di molti corsi d'acqua e le portate defluenti in alveo.

Ovviamente, alla luce di quanti detto sino ad ora, tale legame non può essere biunivoco in quanto oltre al livello di portata intervengono molti altri fattori di altra natura, come ad esempio la stagionalità che però viene considerata nel metodo ed affinché sia generale per i diversi corsi d'acqua deve riguardare valori di portata normalizzati.

Più precisamente Tennant dimostrò questa dipendenza, suddividendo l'anno in due periodi: stagione umida (ottobre-marzo) e stagione secca (aprile-settembre) ed esprimendo la portata come percentuale della portata media annua Q_m ; il risultato fu la tabella seguente (Tab.6.4.2-I) dove per fissati range di percentuale si aveva la medesima qualità ambientale nei diversi corsi d'acqua.

Tab.6.4.2-I: Percentuali della portata naturale secondo il Metodo Montana (da Tennant, 1976).

Qualità ambientale acqua	Ottobre-Marzo	Aprile-Settembre
Massima	200	200
Ottima	60 ÷ 100	60 ÷ 100
Più che eccellente	40	60
Eccellente	30	50
Buona	20	40
Scarsa	10	30
Insufficiente	10	10
Molto insufficiente	0 ÷ 10	0 ÷ 10

Le linee guida del metodo riassumono la tabella come segue:

- una portata pari a $0.1Q_m$ rappresenta il minimo deflusso istantaneo necessario a sostenere la sopravvivenza a breve termine dell'habitat della vita acquatica sottintendendo i salmonidi;
- una portata pari a $0.3Q_m$ garantisce una buona qualità dell'habitat acquatico;
- una portata tra $(0.6 \div 1) Q_m$ rappresenta il deflusso ottimale per l'habitat acquatico.

In questo modo la stima del DMV, come percentuale di Q_m , viene svolta fissando la qualità ambientale del corpo idrico desiderata e rifacendosi alla tabella precedente.

È interessante segnalare che nel 1978 Fraser propose una modifica del metodo prevedendo la sostituzione della portata media annua con la media mensile in modo da includere meglio le variazioni stagionali (Fraser, 1978).

Un'altra osservazione alla base della sua diffusione anche in forme modificate, risiede nel fatto che il metodo può essere utilizzato come un criterio di regionalizzazione in quanto, in un'area climaticamente omogenea, è possibile correlare la percentuale di portata ad altri parametri di tipo idro-geo-morfologici di facile acquisizione come la pluviometria media, la superficie di drenaggio e l'indice di deflusso di base (Casadei e Manciola, 1990).

Infine si precisa che, come detto ad inizio paragrafo, il metodo è stato sviluppato riferendosi a comunità ittiche e corsi fluviali che presentano caratteristiche e regime sicuramente diverso da quello dei corsi d'acqua italiani e pertanto la sua applicazione a casi italiani può portare a valori di DMV non corretti che necessitano di specifica calibrazione.

6.4.3. Il metodo del PRTA.

Come già accennato al paragrafo 6.2.2.2 tra i due progetti di PRTA che trattano il calcolo del DMV nelle aste fluviali del Friuli Venezia Giulia, non vi sono differenze di metodo, ma solamente nella classificazione di alcuni tratti delle aste; pertanto nel presente paragrafo non verrà fatta distinzione tra le delibere tranne quando verranno riportate le carte relative alla classificazione dei corsi d'acqua.

Si precisa, che nelle DGR dedicate, l'articolo di riferimento per il metodo è il n.37 dell'Allegato 4 "Deflusso minimo vitale - DMV".

In tale articolo, la norma, ispirandosi al metodo Montana (Tennant, 1976) fornisce la seguente relazione per il calcolo della portata di Deflusso Minimo Vitale:

$$Q_{DMV} = K \cdot T \cdot P \cdot M \cdot Q_m$$

Da questa formula il metodo potrebbe essere classificato, come idrologico-morfologico o addirittura ibrido data la presenza della portata media e di numerosi parametri che ne specializzano l'utilizzo per il solo territorio regionale. Infatti:

- K è detto *livello di protezione* e varia a seconda della categoria di corso d'acqua come indicato in tabella seguente (Tab.6.4.3-I). In particolare, K deve essere valutato sull'intero tratto sotteso dalla derivazione, per cui:
 - o nel caso di sistemi derivatori con presa e restituzione sullo stesso corso d'acqua, qualora il tratto sotteso dalla derivazione interessi più categorie, dovrà essere utilizzato il valore di K più elevato che consente una valutazione cautelativa del DMV;
 - o nel caso di sistemi derivatori con presa e restituzione su corsi d'acqua diversi, qualora il tratto sotteso dalla derivazione interessi più categorie, dovrà essere utilizzato il valore di K più elevato, prendendo in considerazione le sole categorie presenti sul corso d'acqua dove è ubicata l'opera di presa.

La suddivisione in categorie dei corsi d'acqua della regione è fornita direttamente dal PRTA in apposita cartografia che, per quanto riguarda il bacino idrografico del torrente Slizza, viene riportata in figura (Fig.6-9) e che viene riportata anche in forma tabulare in allegato (Appendice A); come si accennava, per quanto riguarda il bacino dello Slizza, l'unica differenza tra i progetti di PRTA del 2012 ed i successivi consiste nella modifica nella classificazione di alcuni tratti di suddetta carta.

Tab.6.4.3-I: Valori del livello di protezione in funzione della tipologia di corso d'acqua.

Tipologia di corso d'acqua	K
Rii montani	0.1
Tratti montani	0.1
Tratto montano originato da sorgente	0.1
Tratti di fondovalle	0.3
Tratti di pianura	0.7
Tratti di risorgiva	0.7
Tratti di ricarica	0.3
Tratti temporanei	0.0

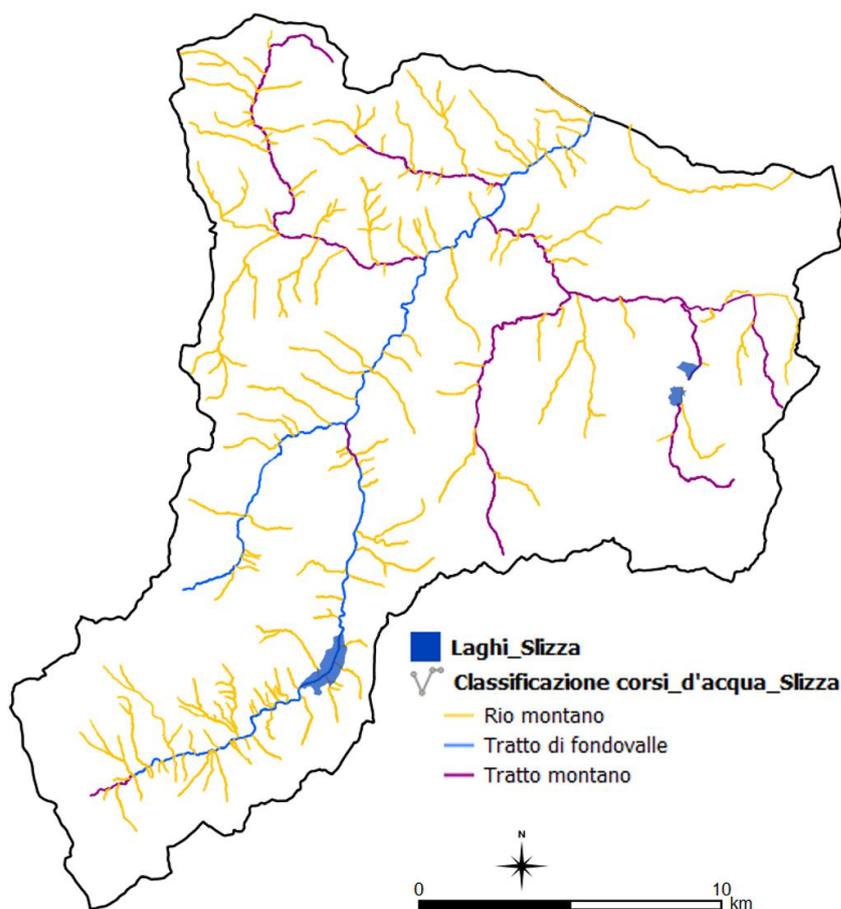


Fig.6-9: Classificazione dei corsi d’acqua del bacino del torrente Slizza al fine della definizione del DMV secondo le disposizioni del PRTA 2017.

- T è detto *coefficiente temporale* e varia a seconda della durata del prelievo, come riportato in tabella seguente (Tab.6.4.3-II);

Tab.6.4.3-II: Valori del coefficiente temporale in funzione durata del prelievo.

Durata del prelievo	T
più di 90 giorni/anno	1.0
meno di 90 giorni/anno	0.8

- P è un parametro che tiene conto delle esigenze naturalistiche e di fruizione turistico–sociale che assume i seguenti valori:
 - $P = 1.5$ qualora la sottrazione di portata incida negativamente su di un corpo idrico ad elevata protezione come quelle riportante in tabella seguente come specificato solo nel 2012 e non nel 2014/2017 (Tab.6.4.3-III);
 - $P = 1$ in tutti gli altri casi.

Per quanto riguarda il bacino idrografico del torrente Slizza la situazione è riassunta in figura seguente (Fig.6-10); da questa si nota che ai fini del calcolo della portata di DMV, gli unici tratti sottesi dalle derivazioni idriche che ricadono all’interno di aree tutelate si riscontrano nella conca di Fusine sulle aste del Rio del Lago, Rio Nero e Rio Bianco.

Tab.6.4.3-III: Aree naturali tutelate della regione Friuli Venezia Giulia

Nome	Definizione
ARIA BUR	Aree di rilevante interesse ambientale definite nel BUR (Bollettino Ufficiale Regionale)
ARIA PRGC	Aree di rilevante interesse ambientale definite nel PRGC (Piano Regolatore Generale Comunale)
Aree SIC	Siti previsti dalla direttiva europea 92/43/CEE a tutela di habitat e specie per la conservazione e incremento della biodiversità in Europa.
Aree ZPS	Siti previsti dalla direttiva europea 79/409/CEE a tutela dell'avifauna e dei relativi habitat per la conservazione e incremento della biodiversità in Europa.
Biotipi naturali	Perimetri previsti dall'Art.4 della LR 42/96
Parchi Naturali	
Riserve Naturali	
Aree Wilderness	
Tratti in cui sono in atto programmi di ricostituzione delle popolazioni ittiche autoctone	

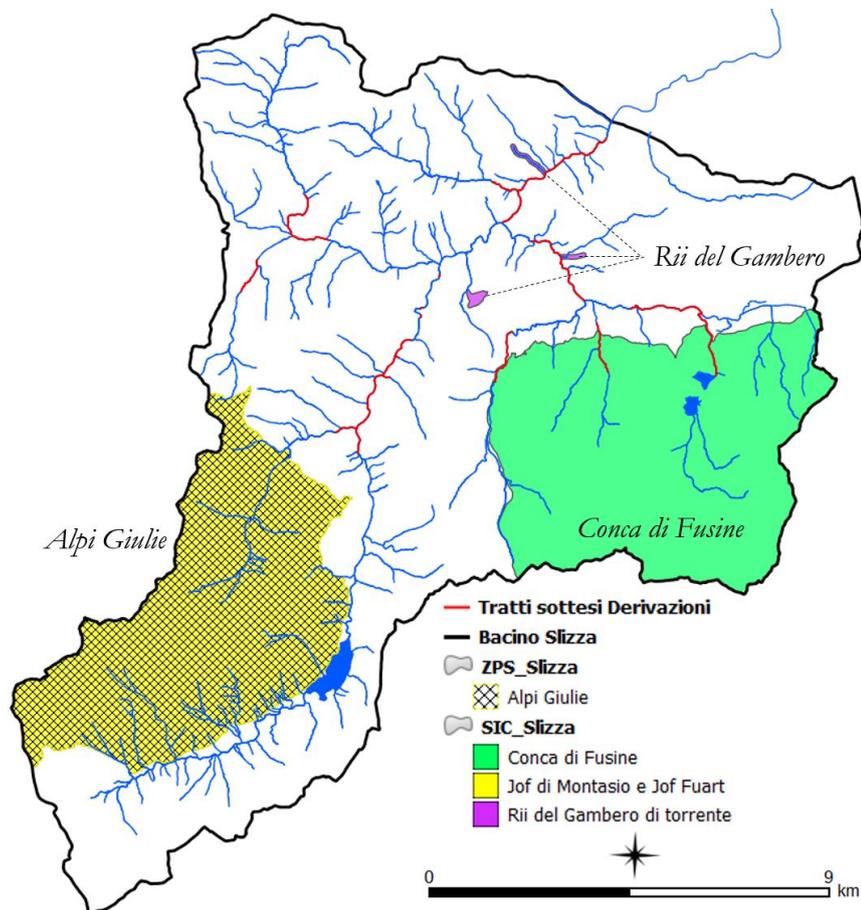


Fig.6-9: Aree naturali tutelate del bacino idrografico del torrente Slizza (evidenziati in rosso i tratti d'asta sottesi dalle derivazioni idriche).

- M è detto *coefficiente di modulazione stagionale* è pari a 1;
- Q_m è la portata media annua alla sezione interessata dall'opera di captazione; è il termine di similitudine col metodo Montana e il PRTA ne permette il calcolo semplificato mediante la seguente formula:

$$Q_m = (q \cdot A) + q_p$$

Dove:

- A [km²] è l'area del bacino idrografico sotteso dall'opera di presa. Nel caso dei fiumi Meduna e Tagliamento e dei torrenti Corno e Cormor, il bacino idrografico sotteso dalle derivazioni ubicate sul tratto classificato come "tratto di pianura" o "tratto di risorgiva" si intende calcolato a valle della linea delle risorgive;
- q [l/s/km²] è la portata specifica fornita dal PRTA in apposita cartografia che, per quanto riguarda il bacino del torrente Slizza, viene riportata in figura (Fig.6-11). Qualora l'area del bacino idrografico sotteso dall'opera di presa interessi aree a diversa portata specifica (Fig.6-10) dovrà essere calcolata la media pesata, come segue:

$$q = \frac{\sum_i q_i \cdot A_i}{\sum_i A_i}$$

Dove q_i è la portata specifica relativa alla porzione A_i del bacino sotteso.

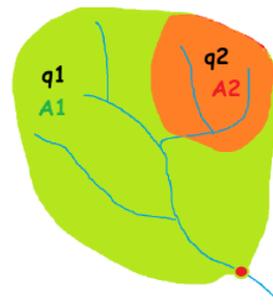


Fig.6-10: Aree con portata specifica diversa all'interno del bacino idrografico sotteso dalla sezione di calcolo del DMV.

- q_p [l/s] indica la somma degli apporti puntiformi di portata che sono riportati sempre nella cartografia riportata in figura, che ricadono all'interno del bacino sotteso dalla sezione considerata.

Al pari della tabella del metodo Svizzero, l'utilizzo della formula e delle carte per la stima della Q_m rappresenta una procedura semplificata; infatti, la norma non esclude un calcolo più rigoroso, in quanto afferma che, "qualora, per la sezione considerata, sia disponibile un'adeguata serie storica di portate misurate di almeno 5 anni sarà possibile calcolare Q_m utilizzando la serie stessa."

Nello stesso articolo dell'allegato viene esposta la possibilità di stimare la Q_m anche utilizzando portate determinate mediante scale di deflusso opportunamente tarate nelle diverse condizioni idrologiche per cui nel proseguo si utilizzerà tale opzione anche con le portate desunte per similitudine idrologica.

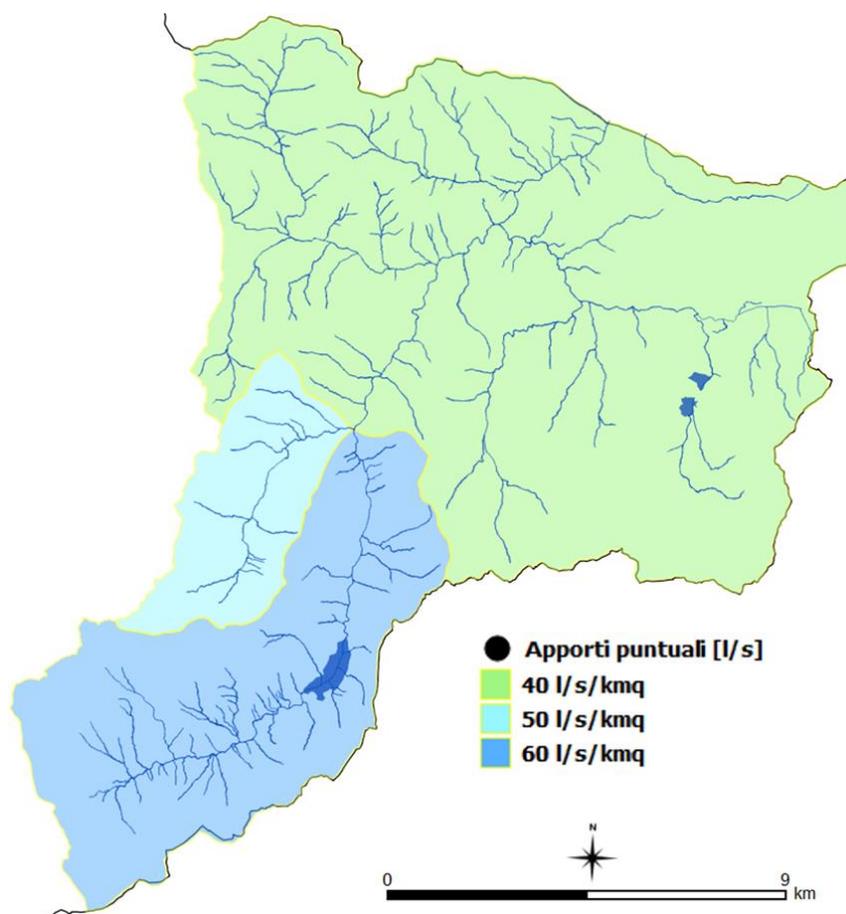


Fig.6-11: Carta della portata specifica e degli apporti puntuali nel bacino idrografico del torrente Slizza al fine della definizione del DMV secondo le disposizioni del PRTA 2017.

Dalla descrizione del metodo è interessante notare come il DMV sia essenzialmente calcolato in maniera proporzionale alla Q_m ; quindi, contrariamente al metodo Svizzero dove il legame $Q_{DMV}-Q_{347}$ era non lineare espresso in Fig.6-5, il PRTA non ha più la tendenza a preservare con maggior forza i piccoli corsi d'acqua a fronte dei grandi ma risulta indipendente dalla dimensione dell'asta.

In realtà quest'ultima può considerarsi computata nel parametro K che infatti dipende dalla classificazione dell'asta e quindi anche dalla sua dimensione; tuttavia dalla tabella relativa (Tab.6.4.3-I) si nota come questo agisca in maniera completamente opposta al metodo Svizzero essendo i valori ridotti per i corsi montani che sono tipicamente più piccoli per dimensioni-portate rispetto a quelli di pianura.

Osservando il metodo si nota che, a differenza il metodo Svizzero, non viene posto nessun vincolo superiore all'estensione del periodo di osservazione utilizzato per il calcolo della Q_m ; mentre in analogia viene fissato un limite inferiore che stavolta è di 5 anni anziché 10 e del quale nuovamente viene lasciata sottointesa la preferenza che esso sia il più recente possibile.

Tuttavia è ovvio che, le stesse considerazioni fatte per la Q_{347} nel metodo Svizzero, essendo perfettamente logiche, possono considerarsi valide anche per la Q_m in questo metodo; quindi è conveniente considerare l'intero periodo di osservazione solo in assenza di un trend marcato nella serie cronologica delle portate medie annue.

In base a questa osservazione, sarà successivamente interessante confrontare i valori di DMV ottenuti usando i valori di Q_m stimati con la formula fornita dal PRTA, stimati usando l'intero periodo di osservazione e stimati usando solo i 5 anni più recenti.

Inoltre è anche utile notare che, il calcolo di della Q_m secondo la formula del PRTA permette di valutare il DMV svincolandosi dall'utilizzo della similitudine idrologica che, come visto nel capitolo 4 introduce inevitabilmente delle approssimazioni; cosa che invece non accade in tutte le altre modalità di calcolo illustrate, tra cui anche il metodo Svizzero, il cui confronto invece visto che si utilizza in tutte la similitudine idrologica, permetterà di fare valutazioni sui metodi.

Pertanto, nel confronto tra i vari risultati sarà nuovamente possibile trarre delle conclusioni sull'affidabilità del criterio di similitudine idrologica adottato.

Per completezza si riportano altre importanti osservazioni del PRTA relative al DMV:

- una volta calcolata, la portata di DMV deve essere garantita lungo tutto il tratto sotteso dalla derivazione;
- in presenza di impianti idroelettrici puntuali aventi tratto sotteso circa nullo che solitamente utilizzano il salto di sbarramenti esistenti, è possibile andare in deroga e, in ragione della particolare brevità del tratto sotteso, possono essere utilizzati valori di DMV inferiori a quelli calcolati, a condizione che sia garantita la continuità idraulica mediante strutture idonee a consentire la risalita della fauna ittica.
Questa considerazione evidenzia che, per garantire la continuità su scala puntuale, è sufficiente il progetto di un adeguato corridoio ecologico quindi di un passaggio per pesci in cui fluisce la portata ottimale che, nel caso richieda portate inferiori al DMV, permette di ridurre l'inutile rilascio per portelo sfruttare economicamente nella derivazione;
- la Regione può disporre valori di DMV superiori a quelli previsti dai commi precedenti, qualora si renda necessario migliorare lo stato ecologico di un corpo idrico ai fini del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale, nonché per altre motivate esigenze di carattere ambientale. Un'importante motivazione può ad esempio essere la presenza di un tratto sotteso molto lungo nel quale, per ragioni idrologiche, antropiche, idrogeologiche, ecc..., risulta difficile conservare il valore di DMV calcolato;
- Nei tratti classificati come fortemente modificati che per il bacino idrografico del torrente Slizza sono stati evidenziati nel capitolo 1 Fig.1-14 la portata di DMV viene calcolata in funzione del raggiungimento dell'obiettivo del buon potenziale ecologico individuato per il singolo corpo idrico.

6.4.4. Il metodo utilizzato dalla Repubblica francese.

In Francia, come in Svizzera, il metodo di calcolo del DMV, trascurando i recenti metodi del Microhabitat, è unico.

Esso è un metodo idrologico nuovamente basato sulla portata media che venne introdotto con la L.29 del giugno 1984 nella quale il DMV viene fissato pari ad 1/10 della portata media valutata su un periodo minimo di 5 anni.

Tale procedura viene aggiornata con la L.1772 del 30 dicembre 2006 "sull'acqua e gli ambienti acquatici", che all'Art. L.214-18 afferma che la portata minima da rilasciare, e quindi quella di DMV, deve essere selezionata come segue:

$$\begin{cases} Q_{DMV} \geq 0.1 \cdot Q_m & \text{se } Q_m < 80 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{DMV} = \frac{1}{20} Q_m & \text{se } Q_m \geq 80 \text{ m}^3/\text{s} \end{cases}$$

È evidente che, come nel metodo Svizzero, anche questo metodo tende a tutelare maggiormente i piccoli corsi d'acqua rispetto a quelli di dimensioni più elevate.

Inoltre si nota che, come per il metodo Montana, anche in Francia viene considerata la portata media come parametro idrologico di riferimento per il calcolo del DMV; tuttavia, il confronto tra le frazioni richieste nei due metodi dimostrano che quello francese risulta un approccio meno cautelativo.

6.4.5. Il metodo utilizzato dalla Repubblica Federale di Germania

La Germania non adotta una regola nazionale per il DMV ma lascia ad ogni suo Länder una sua autonomia decisionale; tuttavia questi si sono prevalentemente orientati su metodi statistici basati sulla portata indice Q_{355} delle curve di durata.

Senza entrare nel dettaglio il quadro dei metodi usati in Germania può essere riassunto come segue:

- Il DMV è compreso tra 1/3 ed 1/2 del minimo deflusso permanente del corso d'acqua; intendendo per quest'ultimo la Q_{355} .

Ricordando che la normativa Elvetica considerava permanente la Q_{347} questo sembra indicare che la Germania utilizza un approccio meno cautelativo in quanto facente riferimento a valori più bassi di portata;

- il DMV è equivalente al minimo deflusso minimo su una serie di 7 giorni avente un tempo di ritorno di 10 anni (indicata come $Q_{7/10}$);
- il DMV è equivalente al minimo deflusso minimo su una serie di 7 giorni avente un tempo di ritorno di 5 anni (indicata come $Q_{7/5}$);

6.4.6. Il metodo utilizzato dal Regno di Spagna.

La Spagna, in base al contesto, concede l'utilizzo di diversi metodi, sia idrologici basati sulla Q_m sia statistici basati sulla Q_{347} .

La situazione può riassumersi come segue:

- se si hanno informazioni limitate sul bacino sotteso il DMV deve essere superiore ad 1/10 della portata media del corso d'acqua (Docampo and De Bikuña, 1993);
- nei corsi d'acqua abitati da trote, il DMV deve essere calcolato come segue:

$$Q_{DMV} = \max \begin{cases} 0.35 \cdot Q_{347} \\ 0.25 \cdot Q_{347} + 75 \\ \frac{0.15 \cdot Q_{347}}{(\ln Q_{347})^2} \end{cases}$$

In ambedue i casi si nota come le relazioni di calcolo individuino sostanzialmente i valori minimi del DMV che si calcolerebbe utilizzando rispettivamente il metodo Montana e quello Svizzero; pertanto l'approccio Spagnolo risulta sicuramente meno cautelativo rispetto ai suddetti metodi mentre risulta paragonabile a quello francese.

6.4.7. I metodi utilizzati nel Regno Unito e nella Repubblica d'Irlanda.

Nel Regno Unito è stata delegata a ciascuna nazione la scelta del metodo di calcolo del DMV; ad oggi la situazione è la seguente:

- in Scozia la portata di DMV viene calcolata pari al 45% della portata media annua. Questo calcolo risulta sicuramente cautelativo rispetto a quelli proposti dalla Spagna, dalla Francia e dagli altri paesi dell'U.K. inoltre, in base al metodo Montana, essendo superiore a $0.3 Q_m$ condurrebbe ad una portata sicuramente sufficiente alla conservazione dell'habitat acquatico;
- nelle restanti nazioni, ossia Inghilterra, Galles e Irlanda del Nord, la portata di DMV assume un andamento variabile nell'anno in quanto viene calcolata come il 10% della portata media mensile. Si ereditano quindi le stesse considerazioni svolte per Francia e Spagna.

Sono però segnalati in letteratura (Tharme, 2003) metodi utilizzati nel Regno Unito che si basano anche sull'utilizzo della portata $Q_{7/10}$, del 90° e 95° percentile di portata che, considerando il periodo annuo, sono rispettivamente Q_{328} e Q_{347} .

Invece nella Repubblica irlandese sono stati proposti i seguenti criteri idrologici per il calcolo del DMV:

- il DMV deve essere superiore ad 1/10 della portata media del corso d'acqua;
- il DMV deve essere compreso tra 1% ÷ 5% della portata media del corso d'acqua.

Nuovamente quindi il calcolo viene basato sul valore minimo consentito anche dal metodo Montana che si ricorda, secondo Tennant, era tale da garantire sopravvivenza solamente a breve termine dell'habitat della vita acquatica.

6.4.8. Altri metodi utilizzati in Europa.

Si riassumono in tabella seguente (Tab.6.4.7-I) altre metodologie idrologiche-statistiche per il calcolo del DMV utilizzate in paesi europei.

Tab.6.4.7-I: metodi per il calcolo del DMV utilizzati in Europa

Paese	Metodo di calcolo
Portogallo	il DMV è pari ad 1/10 della portata media annua
Repubblica Ellenica	il DMV è pari ad 1/3 della portata media nella stagione estiva
Regno di Norvegia	il DMV deve essere pari alla Q_{350}
Bulgaria	il DMV viene calcolato sulla base della 95° percentile di portata
Austri, Romania, Svezia, Islanda e Lussemburgo	il metodo di calcolo del DMV non viene fissato dalla normativa ma viene selezionato caso per caso.

Dalla tabella è possibile affermare che:

- anche il Portogallo, come la maggioranza dei paesi Europei citati in precedenza, imposta il calcolo semplicemente fissando come limite inferiore lo stesso proposto dal metodo Montana; la Grecia, in maniera più restrittiva, definisce il calcolo semplicemente fissando come limite inferiore il livello proposto dal metodo Montana per la tutela dell'habitat acquatico;
- la Norvegia sostanzialmente, in termini di conservatività del calcolo, si frappona tra i metodi Svizzero e tedesco;
- la Bulgaria, riferendosi alla Q_{347} , risulta essersi ispirata al metodo Svizzero rispetto al quale tuttavia non è possibile svolgere un confronto critico non avendo piena conoscenza del metodo bulgaro.

6.4.9. Alcuni metodi utilizzati al di fuori dell'Europa.

Come già accennato in precedenza, nel Canada e negli USA, ad oggi il metodo di calcolo teorico più utilizzato resta indubbiamente il Montana (Fig.6-12) (Tharme, 2003; Annear et al., 2009); che nei paragrafi precedenti si è dimostrato anche ampiamente diffuso, o comunque alla base, di molti dei metodi proposti dagli stati europei.

Tuttavia è da segnalare che il criterio con cui le EPA (Environmental Protection Agency) degli USA. valutano la qualità dei corsi d'acqua, è basato sulla condizione di magra $Q_{7/10}$ già definita nel 6.4.5. come la più bassa portata media su un intervallo di tempo di 7 giorni consecutivi che capita, in media, una volta ogni 10 anni che è quindi difficile da paragonare ai metodi Svizzero e PRTA.

Tra gli altri paesi si può citare:

- la Nuova Zelanda, in cui, come visto anche in Norvegia, il DMV viene calcolato statisticamente come il valore di portata superato o uguagliato per il 96% dell'anno quindi praticamente corrispondente a Q_{350} ;
- Taiwan ed Australia in cui il DMV viene calcolato sulla base del 95° percentile di portata, ovvero utilizzando lo stesso parametro statistico del metodo Svizzero;
- il Brasile, in cui l'*Universidade Federal do Rio Grande do Sul* indica su scala nazionale il DMV viene calcolato come $Q_{7/10}$, ma sono anche utilizzati metodi basati sul 90° percentile di portata (Tharme, 2003).

Quindi sostanzialmente i parametri sono gli stessi segnalati anche per il Regno Unito e di conseguenza si possono considerare valide le medesime osservazioni fatte.

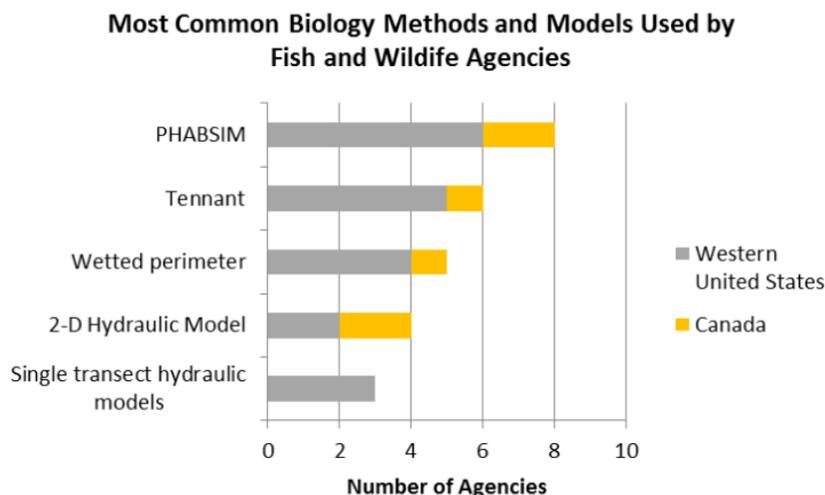


Fig.6-12: Metodi di calcolo del DMV utilizzati dalle agenzie del Canada e negli Stati Uniti d’America occidentali (grafico da: <https://www.wildlife.ca.gov>).

6.4.10. Cenni sul metodo del MesoHABSIM.

Il metodo MesoHABSIM (Mesohabitat Simulation Model) è un metodo sperimentale proposto in letteratura dal Prof. Parasiewicz nel periodo 2001 ÷ 2007 e che successivamente è stato adattato al contesto italiano da Veza et al. nel periodo 2012 ÷ 2014; al fine di risparmiare continue ripetizioni nel testo si precisa che nel presente paragrafo si fa riferimento al manuale ISPRA *per la modellazione e la valutazione dell’integrità dell’habitat fluviale* sviluppato da Veza et al. nel 2017.

Tra gli obiettivi perseguibili con questo metodo vi è ovviamente la quantificazione ma soprattutto la modulazione temporale, che è la differenza principale da tutti gli altri approcci, del DMV.

Il quadro normativo che ha portato allo sviluppo di tale metodologia è quello riguardante il monitoraggio e la valutazione idromorfologica ed ecologica dei corsi d’acqua previsti dalla già citata Direttiva Quadro sulle Acque e dalle norme nazionali di recepimento, tra le quali si ricorda la MATTM n° 29/2017 recante criteri per il rilascio di derivazioni idriche.

La scelta per la modellazione e valutazione dell’integrità fluviale è ricaduta su questo metodo per molte ragioni, tra le quali è interessante nell’ambito del presente elaborato il fatto che il metodo prescinda, contrariamente ai metodi del microhabitat, dall’utilizzo di modelli di simulazione idraulica.

Questo rende il metodo molto flessibile in quanto ne consente l’applicazione contesti di corsi d’acqua a regime torrentizio o comunque caratterizzati da morfologie complesse quali quelle contraddistinte da pendenze elevate e dimensioni dei sedimenti confrontabili con la profondità media della corrente, nei quali l’ipotesi di *shallow water* su cui si basano i classici modelli idraulici non sarebbe valida.

Come già detto il MesoHABSIM è un metodo sperimentale di modellazione dell’habitat a meso-scala (detto appunto mesohabitat) che nei corsi d’acqua naturali, corrisponde generalmente per estensione alle unità morfologiche come pool, riffle, rapid o alle unità idrauliche quali porzioni di corso d’acqua caratterizzate da condizioni di flusso di superficie e da fondo omogenei ed hanno una dimensione longitudinale dello stesso ordine di grandezza della larghezza dell’alveo, intendendo quello di magra se in corsi d’acqua a morfologia braided cioè canali intrecciati (Leopold & Wolman, 1957) o wandering cioè di transizione tra il meandriforme e i canali intrecciati (Church, 1992).

In generale la dimensione dei mesohabitat può coprire un intervallo compreso fra 10^{-1} e 10^3 m; le unità spaziali ancora più piccole come le unità/zone sedimentarie e/o vegetazionali o elementi fluviali corrispondono invece alla scala del microhabitat (per la quale esistono i metodi del microhabitat).

Come tutti i metodi di questo tipo è possibile quantificare l’habitat di una specie target nel tempo al variare della portata defluente cosa che lo rende sia uno strumento di monitoraggio dello stato attuale che predittivo degli scenari futuri; a tal proposito va ricordato che la presenza dell’habitat è solo una condizione necessaria all’esistenza di una popolazione, che potrebbe essere comunque impedita ad esempio da piene frequenti, ma che viene ipotizzata anche sufficiente in questi metodi.

Le tre fasi procedurali della metodologia MesoHABSIM sono riassunte nello schema seguente (Fig.6-13) dove per ciascuna di esse sono indicati anche gli input e gli output.

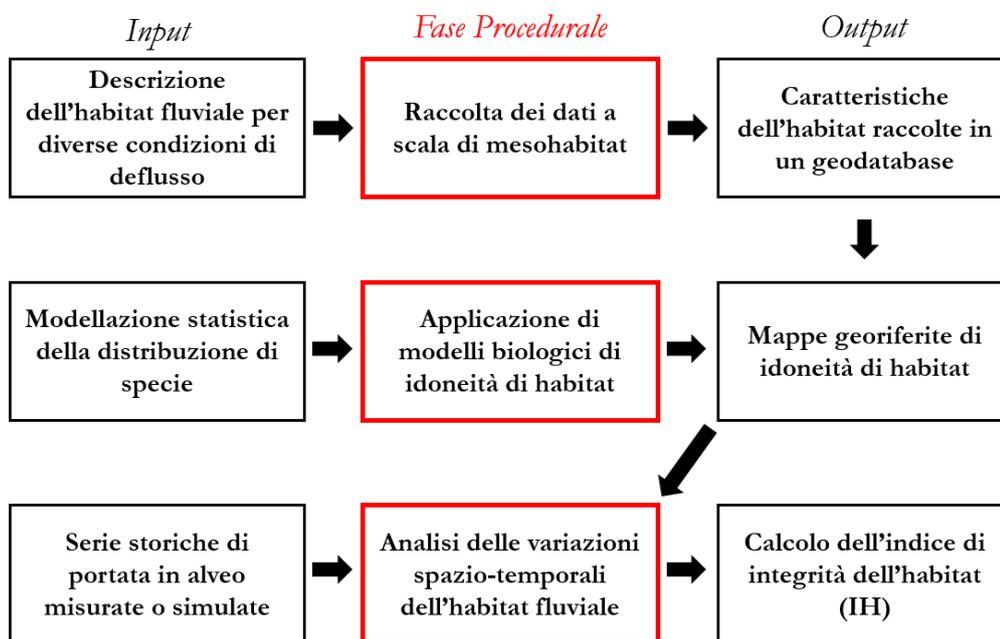


Fig.6-13: Input, fasi procedurali e output della metodologia *MesoHABSIM* per la valutazione della disponibilità di habitat e il calcolo dell'indice di integrità dell'habitat – indice IH (ridisegnato da Vezza et al., 2017).

Di seguito invece si riassumono brevemente le caratteristiche e gli obiettivi di ciascuna fase procedurale evidenziando solamente gli aspetti innovativi e di interesse per il presente elaborato:

- *Fase di raccolta dati a scala di mesohabitat.* Al fine di descrivere e quantificare la distribuzione e l'habitat disponibile per la fauna all'interno del corso d'acqua il primo passo del metodo *MesoHABSIM* è quello di eseguire la mappatura del mosaico dei mesohabitat. Quest'operazione avviene rilevando 10 descrittori ambientali tra cui il numero di Froude, pendenza del fondo, ..., che costituiscono i parametri che maggiormente influenzano la presenza o l'abbondanza delle specie nei relativi stadi vitali e determinano la probabilità di presenza o di abbondanza delle specie target all'interno di ogni mesohabitat;
- *Fase di applicazione di modelli biologici di idoneità dell'habitat.* Attraverso modelli statistici di distribuzione delle specie si stima la quantità di habitat disponibile per una fissata specie target all'interno del corso d'acqua. Tali modelli sono costruiti basandosi su dati biologici quantitativi raccolti in sito su mesoscala ed in condizioni di riferimento quali assenza di alterazioni idromorfologiche e manipolazioni artificiali della popolazione ittica locale che consentono di definire le richieste in termini di mesohabitat della specie target. Si precisa che, sebbene dotati di metodi automatici di validazione, i risultati del modello, ossia la presenza, assenza e abbondanza della specie, vanno sempre validati attraverso i dati ittici direttamente rilevati in sito;
- *Fase di analisi delle variazioni spatio-temporali dell'habitat fluviale.* L'obiettivo di questa fase è quello di descrivere la variazione dell'habitat in funzione della portata fluente; questo viene raggiunto come segue:
 - per una fissata condizione di deflusso Q , dall'output dei modelli biologici è possibile dividere l'area in esame, e quindi l'habitat totale, in habitat *ottimale*, *idoneo* e *non-idoneo*. Si precisa che la non idoneità dell'habitat è relativa alla sola specie target e quindi non implica necessariamente un'interruzione di discontinuità fluviale;
 - combinando linearmente habitat idoneo e ottimale si calcola l'habitat disponibile H_d ;

- ripetendo per vari valori di portata, diagrammando in punti (Q , H_d) si costruisce la curva habitat-portata che sarà tendente a retta orizzontale in tratti molto alterati;

Si fa notare che sin qui la procedura segue quanto detto al paragrafo 6.3 riguardo i metodi biologici in quanto è possibile ricavare il DMV costante come portata relativa al massimo della curva habitat-portata; tuttavia, nello stesso paragrafo, si accennava al fatto che il MesoHABSIM consente anche di valutare la modulazione ottimale del DMV. Infatti si procede come segue:

- nota la serie storica $Q(t)$, attraverso la curva di habitat-portata, è possibile costruire la serie storica di habitat disponibile $H_d(t)$ che può quindi essere analizzata statisticamente per scopi di interesse come ad esempio durata e frequenza di condizioni di habitat sotto soglie ecologiche. Queste serie storiche sono quindi degli indicatori ecologici sia per valutazioni attuali ad esempio confrontando condizioni alterate e naturali presenti che per previsioni future per vedere l'effetto di nuove derivazioni;
- dal modello di habitat e in particolare dalla serie storica si può calcolare un indicatore numerico chiamato IH - *indice di integrità dell'habitat fluviale* con il quale valutare la variabilità spazio (riduzione di habitat a seguito di un impatto) – temporale (durata di situazioni con habitat disponibile non sufficiente, dove la soglia di stress viene fissata sul 97° percentile di portata) degli habitat in condizioni attuali e future. Ovviamente anche per IH si ragiona sulla serie storica.

In conclusione, col metodo del MesoHABSIM è sicuramente possibile verificare gli effetti spaziotemporali di una derivazione per la quale si ipotizza un rilascio $Q_{DMV}(t)$; cosa che, in fase di progetto consente di ricavare la $Q_{DMV}(t)$ non più costante nel tempo.

Terminata la panoramica sui metodi di calcolo del DMV, di seguito si procede ad individuare le sezioni di calcolo in cui sono presenti o si ipotizza di realizzare le opere di ripristino e sulle quali la portata di DMV verrà stimata coi già citati metodi del PRTA e Svizzero.

6.5. Calcolo del DMV nelle aste del bacino idrografico del torrente Slizza.

Alla luce di quanto detto pocanzi di seguito si riassumono quelle che saranno le elaborazioni che verranno svolte nel presente paragrafo; data una sezione di calcolo relativa ad un'opera di presa si svolge:

- calcolo del DMV secondo il metodo Svizzero e dell'ex-Autorità di bacino regionale stimando la Q_{347} sull'intero periodo di osservazione disponibile nel quale le curve di durata si ottengono per similitudine idrologica in rapporto alle aree da Thörl;
- calcolo del DMV secondo il metodo Svizzero e dell'ex-Autorità di bacino regionale stimando la Q_{347} sugli ultimi 10 anni di osservazione disponibili nei quali le curve di durata si ottengono per similitudine idrologica in rapporto alle aree da Thörl;
- calcolo del DMV secondo il metodo del PRTA stimando la Q_m sull'intero periodo di osservazione disponibile nel quale le curve di durata si ottengono per similitudine idrologica in rapporto alle aree da Thörl;
- calcolo del DMV secondo il metodo del PRTA stimando la Q_m sugli ultimi 5 anni di osservazione disponibili nei quali le curve di durata si ottengono per similitudine idrologica in rapporto alle aree da Thörl;
- calcolo del DMV secondo il metodo del PRTA stimando la Q_m con la formula semplificata nella quale per il calcolo dei coefficienti si farà riferimento alla cartografia delle norme di attuazione oggi vigenti.

In base a quanto visto nei paragrafi precedenti, in base al trend cronologico delle portate indice, non tutti i calcoli sarebbero consigliati; tuttavia verranno svolti comunque tutti proprio per svolgere confronti per fare considerazioni sulle:

- differenze tra metodi: confrontando risultati di metodi che prevedono tutti l'uso della similitudine idrologica che quindi si elide nel confronto;

- differenze in uno stesso metodo dovute al periodo di osservazione considerato. In questo caso è sottointesa l'adozione in entrambi i casi dello stesso criterio di similitudine idrologica;

A rigore, nel capitolo 4 (si veda Fig.4-52) si era visto come l'affidabilità della similitudine, pur trasportando allo stesso modo tutte le portate, varia a seconda dell'entità della portata stessa.

In particolare era stato dimostrato che il criterio si adattava bene per bassi valori di portata cosa che ne giustificerebbe l'uso soprattutto nel metodo Svizzero; tuttavia, anticipando che entrambe le portate (Q_m e la Q_{347}) non hanno valori non elevati e che tra loro manifestano differenze non significative, si può considerare omogenea la validità del criterio.

- effetto della similitudine idrologica, confrontando i risultati di uno stesso metodo con e senza il suo utilizzo.

Infatti si nota che i 4/5 dei calcoli prevede l'utilizzo della similitudine idrologica rispetto alle aree che permette di sfruttare i dati della stazione storica di Thörl elaborati nel paragrafo 4.2 dell'elaborato.

Il criterio di similitudine idrologica che verrà adottato è lo stesso già descritto al paragrafo 4.3.3 ossia quello di similitudine in rapporto alle aree di cui, sempre nel paragrafo citato, è stato testato l'uso.

Come noto il criterio sostanzialmente esegue una "riscalatura" delle portate e pertanto può essere adottato direttamente sulle curve di durata (elaborate sempre nel paragrafo 4.2) relative alla sezione di Thörl.

A tal proposito, in base ai risultati ottenuti nel paragrafo 4.2 per le definizioni di Q_{347} e Q_m , tali portate indice verranno sempre estratte riferendosi alle AFDC medie e non alle TFDC che comunque non evidenziavano grosse differenze.

Inoltre, come già accennato, sempre per il tipo di criterio di similitudine adottato, anche le valutazioni sui trend delle serie cronologiche delle portate Q_{347} e Q_m , che si ricorda è informazione necessaria per la scelta corretta del periodo di osservazione, possono essere fatte riferendosi alla stazione Thörl dove sono già state svolte al paragrafo 4.2.; con riferimento infatti alle figure (Fig.4-24 e Fig.4-30) si riassumono i risultati ottenuti in tabella (Tab.6.5-I):

Tab.6.5-I: Tendenza degli andamenti cronologici delle portate Q_{347} e Q_m a Thörl (1975 ÷ 2010).

Valore	Q_{347}	Q_m
Massimo [m ³ /s]	4.02	10.56
Minimo [m ³ /s]	1.98	5.01
Medio [m ³ /s]	2.89	7.67
Coefficiente angolare della retta di tendenza (trend) [m ³ /s/anno]	0.015	- 0.044

Come si nota dalla tabella appena riportata, le portate evidenziano comportamenti tendenziali opposti ed in ogni caso di entità ridotta; più precisamente, visti i segni, ci si aspetta che considerando l'intero periodo di osservazione, si ottengano DMV cautelativi col metodo Svizzero e non cautelativi con il PRTA.

Tuttavia, considerando la mancanza di indicazioni normative riguardanti valori limite di tendenza, si ritiene corretto eseguire tutti i calcoli per selezionarne quello considerato più idoneo.

Si conclude tale introduzione riportando in figura (Fig.6-14) le AFDC medie valutate nell'intero periodo di osservazione (1975 ÷ 2010) e nei suoi ultimi 10 e 5 anni (2001 ÷ 2010 e 2006 ÷ 2010); da questa si nota come, mentre la curva riferita al periodo più recente è sempre la più alta, mentre quella relativa al periodo più esteso ed agli ultimi 10 anni si intersecano più volte con l'altra.

Questi andamenti reciproci fanno sì che il comportamento tendenziale delle portate indice sia molto variabile il che giustifica i diversi trend ottenuti nella precedente tabella.

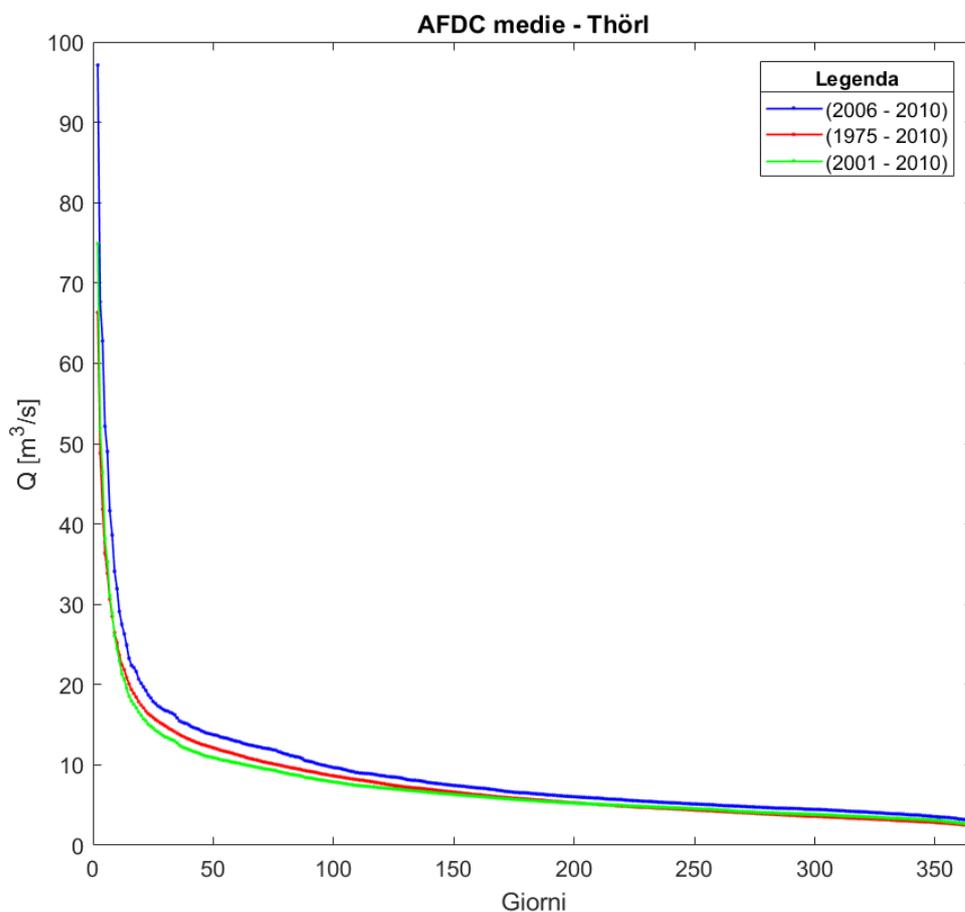


Fig.6-14: Curva media di durata delle portate a Thörl per i vari periodi di osservazione.

6.5.1. Selezione delle sezioni di calcolo.

Per quanto visto in questo capitolo, le sezioni in cui è richiesto il calcolo del DMV sono ovviamente tutte quelle oggetto di derivazione; tuttavia, ricordando l'obiettivo dell'elaborato, il calcolo verrà svolto solo nel caso in cui esse siano anche contestuali a delle interruzioni della continuità idrobiologica ripristinabile mediante passaggi per pesci.

Le ragioni specifiche riguardo la selezione di una data sezione verranno specificate nei relativi paragrafi, tuttavia si precisa che per la loro identificazione verranno utilizzati i codici identificativi delle opere di presa utilizzati dal catalogo *Irdat* già riportati in allegato (Appendice C)

6.5.1.1. Opere di presa 495 sul torrente Slizza.

Tra le sezioni selezionate per la progettazione di nuovi passaggi per pesci vi è quella su cui insiste la presa 495 già descritta nel paragrafo 3.3 del presente elaborato.

Detta sezione è interessata da una derivazione ad uso idroelettrico e si trova sul torrente Slizza circa 1.5 km a monte del suo ingresso nell'abitato di Tarvisio; più precisamente essa si colloca nel tratto iniziale dell'ansa del torrente che si frappona tra la SS.54 ed i resti del bacino artificiale di Rutte (si veda figura Fig.3-11 e successive Fig.6-15 e Fig.6-16) ed alimenta l'impianto di "Plezzut nuova 2".

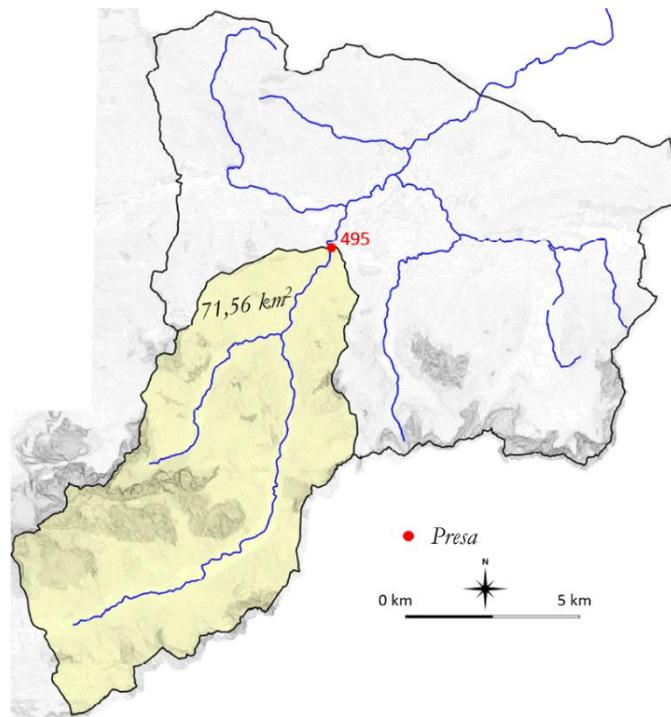


Fig.6-15: Bacino sotteso dall'opera di presa 495.



Fig.6-16: Particolare della gaveta e dell'ala destra della briglia di sbarramento della presa 495 sul torrente Slizza. A valle della briglia dovrebbe esserci la scala di risalita per pesci, la bocca di presa si trova in sponda sinistra.

Al netto delle contromisure, l'impatto della derivazione sulla continuità dell'asta, in parte già discusso, è inevitabile considerando la dimensione dello sbarramento (si veda Tab.3.3-I) ed il fatto che esso sorge sull'asta principale del bacino che per quanto visto al capitolo 5 è sicuramente interessata da migrazioni

riproduttive da parte della trota fario. Tuttavia, nel paragrafo 3.3, si era osservato che, ufficialmente, la briglia risulta essere dotata di una scala di risalita per i pesci; cosa che, come testimonia la figura precedente, non ha trovato conferma nel sopralluogo in sito svolto dove si è osservata un'assoluta impossibilità di risalita per i pesci, aggravata dalla mancanza di continuità del deflusso che in parte imputabile anche al fatto che il sopralluogo è stato svolto in periodo molto secco oltre che al fenomeno di infiltrazione. Per queste ragioni tale sezione deve essere interessata dal progetto di ripristino.

Focalizzandosi specificatamente sulla sottrazione di portata è stato già osservato come il sistema in esame sia sostanzialmente puntuale e pertanto il rilascio del DMV risulta sicuramente secondario rispetto alla mancata percorribilità dell'asta.

È ovvio che il calcolo deve essere svolto ugualmente anche perché necessario per la stima della portata di alimentazione del passaggio per pesci; tuttavia a seconda della procedura seguita in questi casi è possibile spesso ridurre il rilascio di portata ad esempio entrando in deroga nel PRTA.

Si riportano in tabella seguente (Tab.6.5.1-I) i valori di portata notevoli dell'impianto alimentato dalla derivazione, la lunghezza del tratto sotteso dalla derivazione (si veda Fig.2-10) e l'area del bacino sotteso (indicato in figura precedente Fig.6-16); in particolare, nota quest'ultima, si calcola il suo rapporto con l'area del bacino sotteso dalla stazione di Thörl.

$$S/S_{Thörl} = 71.56/188 = 0.3806$$

Tab.6.5.1.1-I: Caratteristiche della presa 495 realizzate sull'ansa del torrente Slizza.

Pres	Q_{max} [l/s]	Q_{min} [l/s]	Q_m [l/s]	D [km]	S [km ²]	$S/S_{Thörl}$
495	6000	2200	1383.3	0.03	71.56	0.3806

Mediante il rapporto di aree appena calcolato, sfruttando il criterio di similitudine idrologica descritto nel capitolo 4, si trasportano le curve medie di durata di Thörl, per i vari periodi di osservazione, sulla sezione di calcolo (Fig.6-17) dove naturalmente i rapporti reciproci tra le varie curve, per similitudine, sono i medesimi osservati a Thörl.

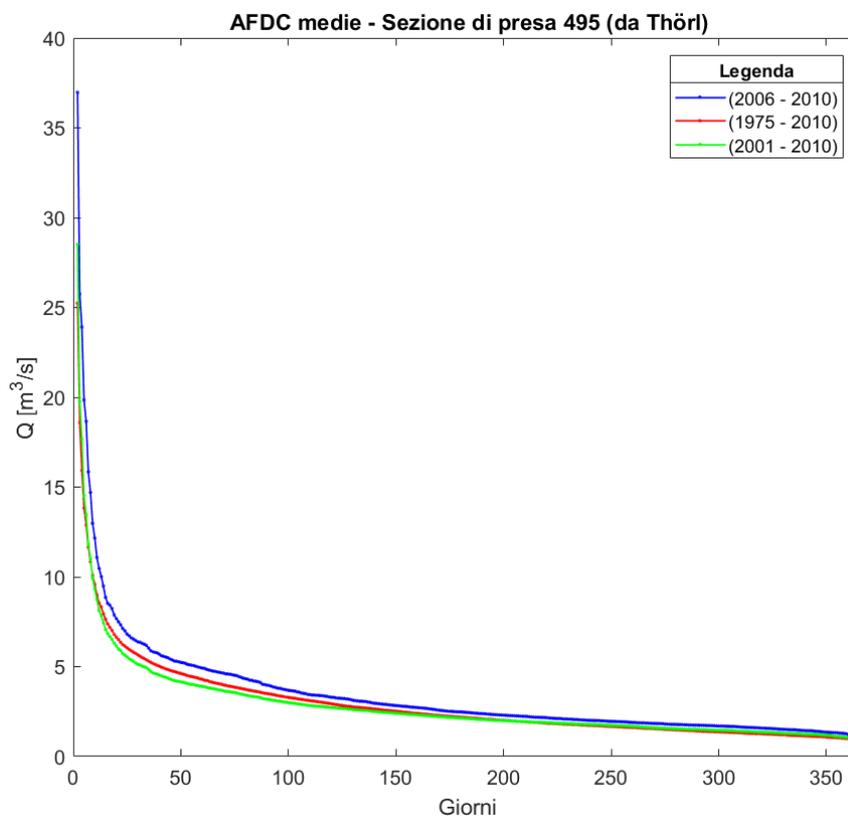


Fig.6-17: Curva annua media di durata delle portate per i vari periodi di osservazione – presa 495 per similitudine idrologica da Thörl.

6.5.1.2. Opere di presa 493 sul torrente Slizza.

Per quanto appena detto nel precedente paragrafo e ricordando il paragrafo 3.3, il progetto di ripristino deve coinvolgere necessariamente anche la sezione della presa 493, posta subito a valle della presa 495. Essa è situata sul collo di valle della stessa ansa, anche questa è interessata da una derivazione idroelettrica che alimenta l'impianto di "Plezzut nuova 2", tutto è simile alla precedente sia per la dimensione che per la fattura dei manufatti (si veda figura Fig.311 e successive Fig.6-18 e Fig.6-19).

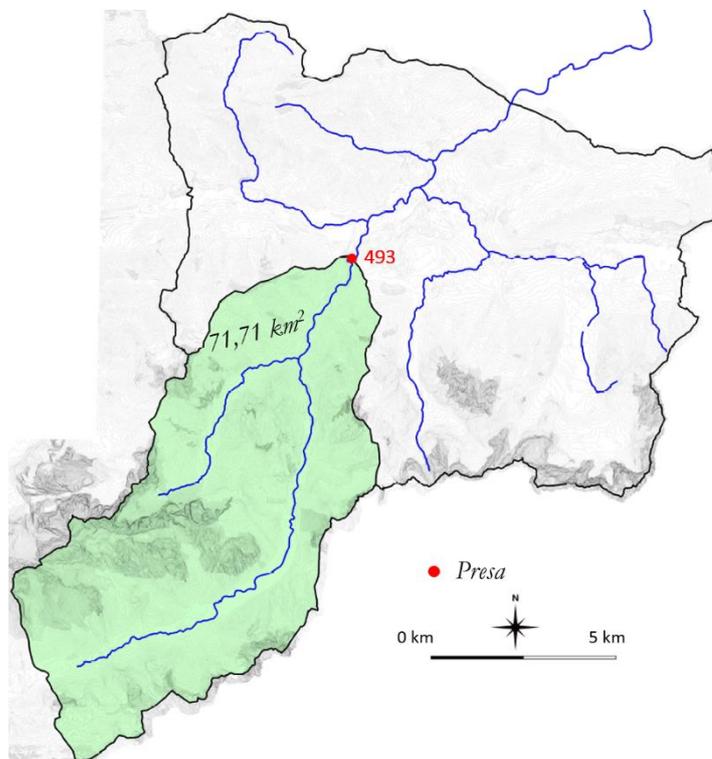


Fig.6-18: Bacino sotteso dall'opera di presa 493.



Fig.6-19: Opera di sbarramento della derivazione 493 sul torrente Slizza

Ovviamente, vista la vicinanza e la similitudine, valgono per questa sezione le stesse osservazioni svolte per la precedente; anzi, la necessità di ripristino è in questo caso anche prioritaria visto che la derivazione risulta da catalogo regionale, quindi ufficialmente, priva di scala di rimonta e che, essendo collocata più a valle della precedente, nel percorso di rimonta riproduttivo svolto dalla trota fario, il pesce si troverebbe a dover risalire prima lo sbarramento della 493 e solo in caso di successo si troverà ad affrontare anche quello della 495. Pertanto l'assenza di continuità nell'opera più valliva, vista la vicinanza che esclude la presenza di vasta popolazione tra le due opere, renderebbe vano l'intervento nella derivazione più montana.

Si sottolinea di nuovo che fortunatamente i tratti sottesi dalle due derivazioni (si veda Fig.2-10) sono molto brevi ed in particolare tali da evitare sovrapposizione tra le stesse; quindi le sottrazioni di portata non si cumulano, cosa che renderebbe più difficoltoso il rilascio del DMV nella derivazione 493.

Inoltre, come visto nel paragrafo precedente, la natura puntuale del sistema permette neutralizza di per se l'impatto della sottrazione di portata consentendo in alcuni casi di valutare anche una possibile riduzione della portata di DMV.

Come fatto nel paragrafo precedente si riportano in tabella (Tab.6.5.2-I) le caratteristiche della presa; e di seguito il rapporto d'area con la stazione di Thörl che ovviamente subirà solo un lieve incremento.

$$S/S_{Thörl} = 71.71/188 = 0.3815$$

Tab.6.5.1.2-I: Caratteristiche della presa 495 realizzate sull'ansa del torrente Slizza.

Presa	Q_{max} [l/s]	Q_{min} [l/s]	Q_m [l/s]	D [km]	S [km ²]	$S/S_{Thörl}$
493	6000	2200	1383.4	0.04	71.71	0.3815

Per quanto appena visto è ovvio che anche le curve medie di durata annue delle portate presenteranno valori leggermente incrementati rispetto alle precedenti (Fig.6-20)

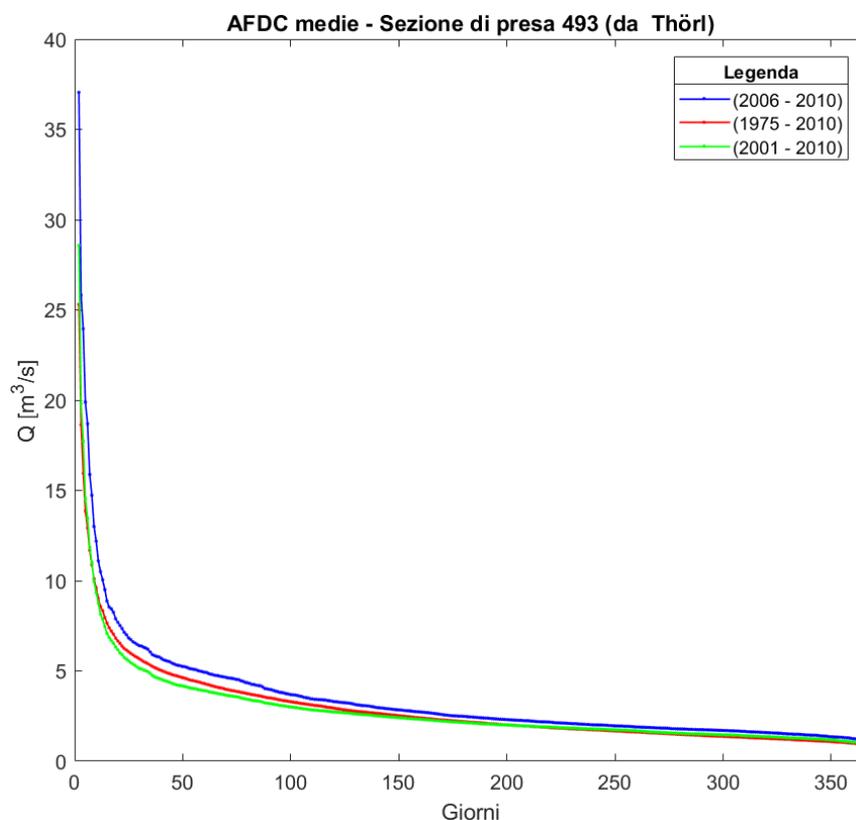


Fig.6-20: Curva annua media di durata delle portate per i vari periodi di osservazione – presa 493 per similitudine idrologica da Thörl.

6.5.1.3. Opere di presa 921 sul rio Bianco.

Una terza sezione selezionata per la progettazione di nuovi passaggi per pesci si trova sul rio Bianco ed è quella su cui insiste la presa 921 (Fig.6-21 e Fig.6-22).

Come le precedenti, anche questa sezione è interessata da una derivazione ad uso idroelettrico alimentante la centrale “rio del Lago” e della quale, non essendo stata descritta in precedenza, si riassumono le caratteristiche principali in tabella seguente (Tab.6.5.1.3-I).

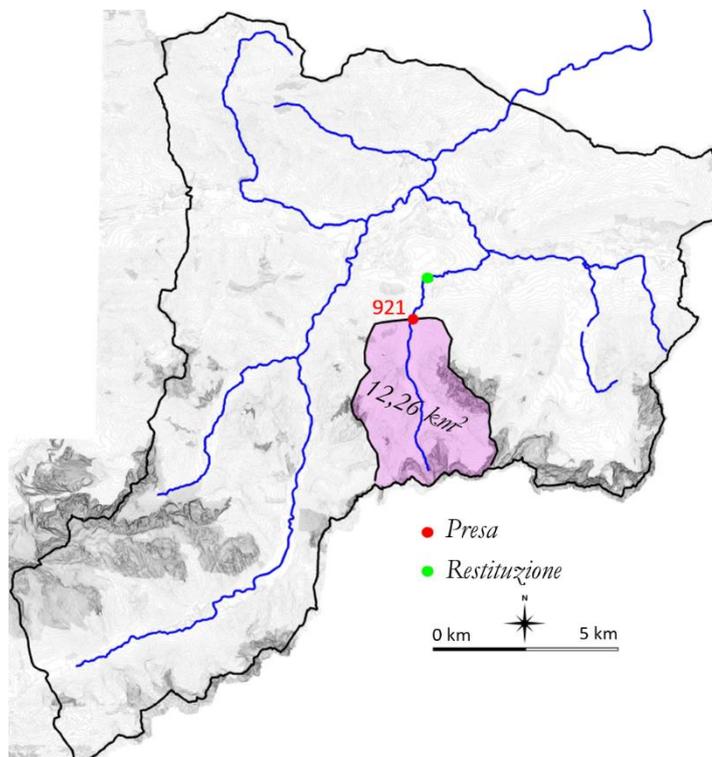


Fig.6-21: Bacino sotteso dall'opera di presa 921.

Tab.6.5.1-I: Caratteristiche della presa 291 realizzata sul rio Bianco

Presa	Q_{max} [l/s]	Q_{min} [l/s]	Q_m [l/s]	D [km]	S [km ²]	$S/S_{Thörl}$
921	800	160	319	1.35	12.26	0.066

Figura e tabella riportate mostrano una situazione totalmente differente rispetto a quella delle precedenti sezioni che si può riassumere come segue:

- la presa non sorge sull'asta principale del bacino ma circa a metà di un suo importante affluente che è il rio Bianco; le dimensioni dell'asta stessa e quelle del bacino sotteso dalla presa fanno sì che i livelli delle portate, sia di derivazione che di DMV, saranno molto inferiori rispetto ai precedenti. Questo viene sottolineato anche dalla diversa classificazione delle due aste nel PRTA;
- l'impianto idroelettrico è sempre ad acqua fluente con presa in sinistra, traversa fissa, ed è di ricostruzione recente. Si sottolinea come in questo caso lo sbarramento sia unicamente dedicato al controllo del pelo libero per la derivazione; non vi sarà quindi l'interrimento tipico delle briglie e delle problematiche da esso conseguenti;
- come visto al capitolo 2, per sopperire ai valori ridotti di portata e di salto idraulico relativo allo sbarramento, mentre le precedenti derivazioni sul torrente Slizza erano sostanzialmente puntuali, la 921 possiede un tratto sotteso (si veda anche figura Fig.2-10) di importanti dimensioni essendo di circa 1.35 km.

Quindi, come visto nei primi paragrafi del capitolo e contrariamente alle sezioni precedenti, è proprio in questi casi che il DMV diventa l'unico strumento capace di mitigare il rischio di interruzione della continuità fluviale sull'intero tratto; in questo caso infatti i passaggi per pesci che agiscono solo puntualmente sulla percorribilità dell'ostacolo.

Ne segue che, anziché valutare la possibilità di deroga per un rilascio inferiore al DMV, in questo caso è necessario studiare con attenzione le condizioni idrologiche-idrogeologiche come il comportamento dispersivo, il flusso sub-alveo e la presenza vegetazione del sito, al fine di valutare la possibilità di una riduzione progressiva del DMV lungo il tratto che, nel caso, deve essere contrastata.



Fig.6-22: Immagine satellitare della presa 921.

Ovviamente, essendo anche il rio Bianco un'asta principale del reticolo, alla luce di quanto visto nel capitolo 5, è sicuramente interessata da migrazioni riproduttive da parte della trota fario che trova habitat adeguato alla riproduzione anche nei suoi affluenti minori; inoltre si anticipa che parte del tratto sotteso ricade anche in area protetta (SIC – Conca di Fusine).

In un contesto del genere, è inevitabile l'ittiocompatibilizzazione dello sbarramento; tuttavia, rispetto ai casi precedenti, l'intervento risulta secondario rispetto ad un'accurata valutazione della portata di DMV e soprattutto all'assicurazione del suo mantenimento nell'intero tratto sotteso altrimenti vi sarebbe interruzione del continuum prima dell'ostacolo e quindi inutilità del passaggio.

Come detto, l'opera è stata di recente ristrutturazione e l'ETPI ne ha previsto l'adeguamento ecologico mediante scala di risalita e pertanto è sicuramente corretto inglobare anche questa sezione nel progetto di ripristino che si ipotizza nel presente elaborato.

Come per le sezioni precedenti, in funzione dell'area del bacino sotteso dalla presa (Tab.6.5.1.3-I e Fig.6-21) calcola il suo rapporto con l'area del bacino sotteso dalla stazione di Thörl.

$$S/S_{Thörl} = 12.26/188 = 0.066$$

Si nota come sia il primo caso in cui la similitudine coinvolge una sezione non appartenente al torrente Slizza del quale si ricorda che fa parte la stessa Thörl; questo, insieme alle ovvie differenze dettate dall'estensione del bacino e, accentuando le peculiarità locali del rio Bianco rispetto a quelle dello Slizza di cui è comunque affluente, rende sicuramente più critica l'applicazione del metodo i cui risultati andranno valutati con attenzione.

Mediante il rapporto di aree appena calcolato e sfruttando il criterio di similitudine idrologica descritto nel capitolo 4, si trasportano le curve medie di durata di Thörl, per i vari periodi di osservazione, sulla

sezione di calcolo (Fig.6-23) dove naturalmente i rapporti reciproci tra le varie curve, per similitudine, sono i medesimi osservati a Thörl.

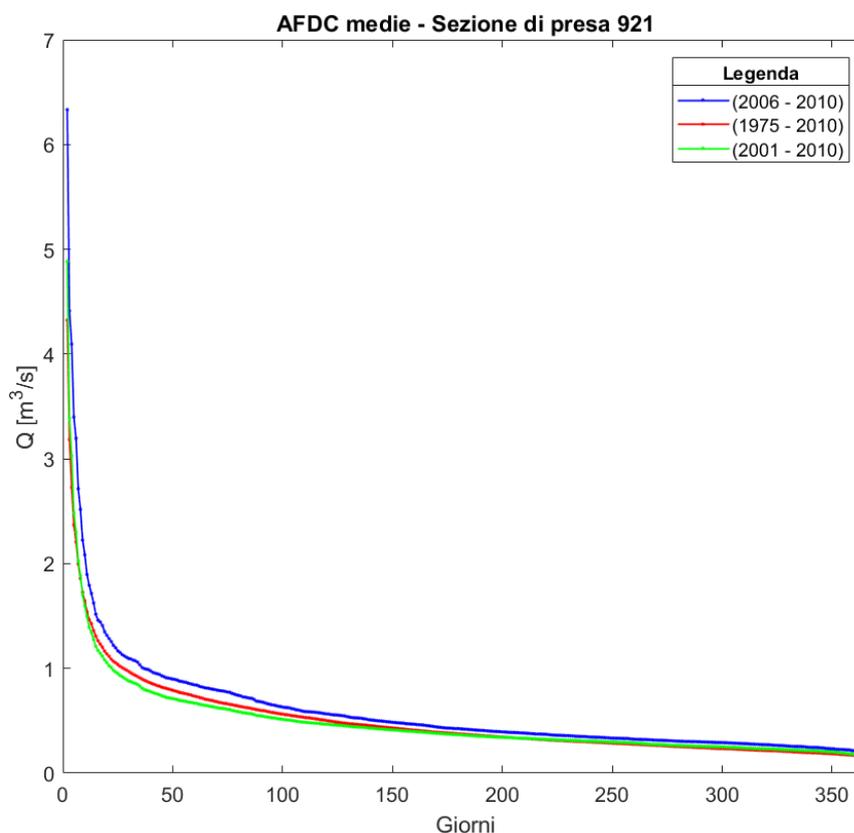


Fig.6-23: Curva annua media di durata delle portate per i vari periodi di osservazione – presa 921 per similitudine idrologica da Thörl.

6.5.2. Calcolo del DMV col metodo Svizzero.

Di seguito verrà svolto il calcolo della portata di DMV, nelle sezioni precedentemente indicate, secondo il metodo Svizzero descritto al paragrafo 6.4.1. e nella sua versione modificata proposta dall'ex-Autorità di bacino regionale che è stata descritta al paragrafo 6.2.2.2.

Come già accennato il calcolo sarà svolto considerando entrambi i periodi di osservazione proposti dalla normativa Elvetica.

6.5.2.1. Calcolo con periodo di osservazione 1975 ÷ 2010.

Considerando l'intero periodo per cui sono note le portate a Thörl (1975 ÷ 2010), dalle rispettive curve medie di durata annua delle portate (Fig.6-17, Fig.6-20 e Fig.6-23) si estrae, per ogni sezione, la portata Q_{347} che sarebbe quindi il valore medio in 36 anni. I valori si riassumono in tabella (Tab.6.5.2.1-I):

Tab.6.5.2.1-I: Valore medio di Q_{347} nel periodo (1975 ÷ 2010) nelle sezioni di calcolo.

Sezione/ Presa	D [km]	Asta fluviale	Q_{347} [l/s]
495	0.03	T. Slizza	1103.5
493	0.04	T. Slizza	1106.0
921	1.35	R. Bianco	188.0

Noti i valori di Q_{347} , è sufficiente sfruttare la tabella del metodo (Tab.6.4.1-I), eseguendo le dovute interpolazioni lineari, per calcolare il DMV secondo la normativa Svizzera, che si indicherà con Q_{DMV}^{CH} ; successivamente, amplificando questa portata di $(1 + 0.0075 \cdot D)$, si ricava anche il DMV secondo il metodo dell'ex-Autorità di bacino regionale indicato come Q_{DMV}^{ABR} .
Si riassumono i risultati in tabella seguente (Tab.6.5.2.1-II):

Tab.6.5.2.1-II: Valore della portata di DMV nel periodo (1975 ÷ 2010) nelle sezioni di calcolo – Metodo Svizzero e dell'ex-Autorità di bacino regionale.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	Q_{DMV}^{CH} [l/s]	Q_{DMV}^{ABR} [l/s]
495	T. Slizza	467.1	468.1
493	T. Slizza	467.9	469.3
921	R. Bianco	142.3	156.7

Si nota ovviamente che i risultati sono molto simili nelle due prese 493, 495 e che in esse, data la lunghezza esigua del tratto sotteso anche le differenze tra i due metodi sono molto ridotte. Valori decisamente inferiori si ottengono in corrispondenza della presa 921 dove peraltro, vista la lunghezza notevole del tratto sotteso, si riscontrano differenze più non più irrisorie tra i due metodi.

6.5.2.2. Calcolo con periodo di osservazione 2001 ÷ 2010.

Si ripetono le operazioni svolte nel paragrafo precedente ma considerando come periodo di osservazione solo gli ultimi 10 anni della serie cronologica delle portate misurate a Thörl (2001 ÷ 2010), ossia seguendo rigorosamente la normativa Svizzera.

Le curve medie di durata annua in tale periodo sono già state determinate e riportate nelle figure già citate, per cui si riassumono i risultati in un'unica tabella (Tab.6.5.2.2-I)

Tab.6.5.2.2-I: Calcolo del DMV secondo il metodo Svizzero e dell'ex-Autorità di bacino regionale nel periodo (2001 ÷ 2010) nelle sezioni di calcolo.

Sezione/ Presa	D [km]	Asta fluviale	Q_{347} [l/s]	Q_{DMV}^{CH} [l/s]	Q_{DMV}^{ABR} [l/s]
495	0.03	T. Slizza	1103.5	511.0	512.1
493	0.04	T. Slizza	1106.0	511.8	513.4
921	1.35	R. Bianco	204.4	149.5	164.7

6.5.3. Calcolo col metodo del PRTA.

Di seguito verrà svolto il calcolo della portata di DMV, nelle sezioni precedentemente indicate, secondo il metodo proposto nelle misure di salvaguarda del PRTA ossia secondo le norme di attuazione del 2017 descritto al paragrafo 6.4.3.

Come già accennato il calcolo sarà svolto considerando tutte le possibili metodologie di stima della Q_m ; ma indipendentemente da questa, una volta fissate le sezioni, restano costanti i valori dei parametri T , K , P e M .

Ricordando le definizioni dei parametri date al paragrafo 6.4.3 e osservando che:

- confrontando Fig.2-10 con la carta di figura Fig.6-9 si nota che i brevi tratti del torrente Slizza sottesi dalle derivazioni 493 e 495 sono *tratti di fondovalle* mentre il lungo tratto del rio Bianco sotteso dalla derivazione 921 è interamente *tratto montano*;
- rifacendosi all'appendice C, tutte le derivazioni sono ad uso continuativo, pertanto il funzionamento è sicuramente più esteso di 90 giorni/anno;

- sempre da figura Fig.2-10 si nota che i tratti sottesi dalle derivazioni 493 e 495 non ricadono in aree naturali tutelate mentre parte iniziale del tratto sotteso dalla presa 921 ricade all'interno del sito protetto della conca di fusine. Sebbene questa inclusione sia parziale e praticamente sul confine di tale area si decide comunque di assumere cautelativamente un valore di P pari a 1.5 considerando anche la lunghezza non trascurabile del tratto sotteso lungo il quale fenomeni dispersivi potrebbero comunque ridurre la portata di DMV.

Si ottengono i valori riportati in tabella seguente (Tab.6.5.3-I):

Tab.6.5.2.1-I: Valori dei parametri adimensionali per il calcolo del DMV secondo la procedura del PRTA nelle sezioni di calcolo.

Sezione di presa	Asta fluviale	K	T	P	M
495	T. Slizza	0.3	1	1	1
493	T. Slizza	0.3	1	1	1
921	R. Bianco	0.1	1	1.5	1

Stimati questi parametri la portata di DMV si differenzierà solo per la stima di Q_m

6.5.3.1. Calcolo con portata media stimata sul periodo di osservazione 1975 ÷ 2010.

Considerando l'intero periodo per cui sono note le portate a Thörl (1975 ÷ 2010), dalle rispettive curve medie di durata annua delle portate si calcola, per ogni sezione, la portata Q_m che sarebbe quindi il valore medio di portata in 36 anni; nota la quale è di immediato calcolo la portata di DMV che verrà indicata con Q_{DMV}^{PRTA} .

I valori si riassumono in tabella (Tab.6.5.3.1-I):

Tab.6.5.3.1-I: Calcolo del DMV secondo il metodo del PRTA nel periodo (1975 ÷ 2010) nelle sezioni di calcolo.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	Q_m [l/s]	Q_{DMV}^{PRTA} [l/s]
495	T. Slizza	2918.3	875.49
493	T. Slizza	2924.8	877.44
921	R. Bianco	497.3	74.60

6.5.3.2. Calcolo con portata media stimata sul periodo di osservazione 2006 ÷ 2010.

Si ripetono le operazioni svolte nel paragrafo precedente ma considerando come periodo di osservazione solo gli ultimi 5 anni della serie cronologica delle portate misurate a Thörl (2006 ÷ 2010), ossia utilizzando il minimo periodo di osservazione consentito dal PRTA per la stima della Q_m .

A titolo di esempio si riportano in figura i valori della Q_m sovrapposti alle relative, ossia calcolate sullo stesso periodo di osservazione, curve medie di durata annua per la sola sezione 493 (Fig.6-24). Si ricorda che comunque, per similitudine idrologica lo stesso si verifica nelle altre sezioni.

Dalla figura si nota che la differenza tra le due portate medie è praticamente indistinguibile il che indica e conferma la mancanza di un trend di variazione significativo del deflusso medio e quindi sembrerebbe rendere più affidabile, almeno in questo caso, il calcolo svolto sull'intero periodo di osservazione.

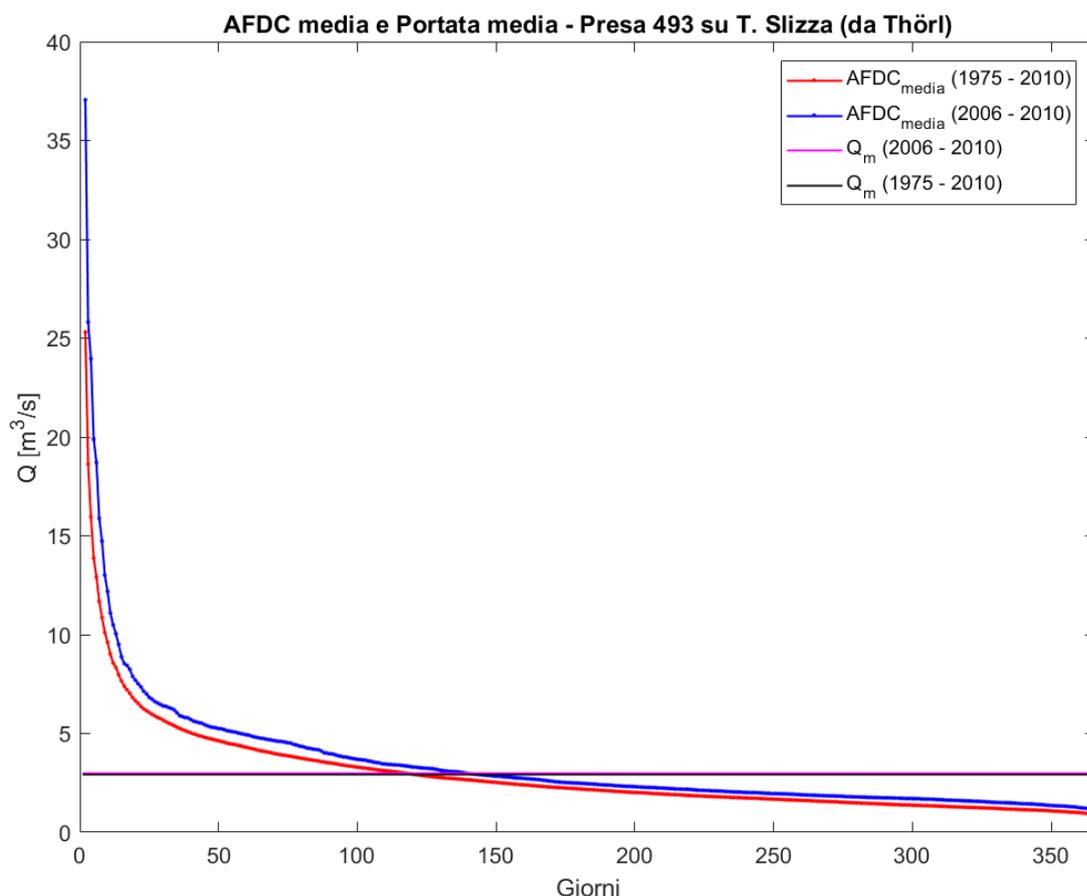


Fig.6-24: Curve medie di durata delle portate e portata media stimate, nei periodi (1975 ÷ 2010) e (2006 ÷ 2010) sulla sezione di presa 493, per similitudine idrologica da Thörl.

I risultati del calcolo si riassumono in tabella seguente (Tab.6.5.3.2-I):

Tab.6.5.3.2-I: Calcolo del DMV secondo il metodo del PRTA nel periodo (2006 ÷ 2010) nelle sezioni di calcolo.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	Q_m [l/s]	Q_{DMV}^{PRTA} [l/s]
495	T. Slizza	2983.6	895.08
493	T. Slizza	2990.3	897.09
921	R. Bianco	590.6	88.59

6.5.3.3. Calcolo con stima semplificata della portata.

Come visto al paragrafo 6.4.3., per svolgere il calcolo semplificato della portata Q_m adottando la formula del PRTA, è sufficiente sovrapporre il limite del bacino sotteso dalla sezione di calcolo alla cartografia riportata in Fig.6-11; in questo modo si determinano le aree delle porzioni omogenee per portata specifica necessarie per calcolare q e gli apporti puntiformi q_p .

A tal proposito si nota che, per quanto riguarda il bacino del torrente Slizza:

- non sono presenti apporti puntiformi;
- sono possibili 3 diversi valori di portata specifica (60, 50 e 40 l/s) associati rispettivamente ai bacini del rio del lago (di Raibl), al Rio freddo ed alla restante porzione a nord della loro confluenza.

Quindi nuovamente si trova una distinzione di comportamento tra la porzione settentrionale e meridionale del bacino dove si ricorda che il confine, sebbene mai definito, è stato sempre

inteso coincidente all'incirca con la sezione di nascita del torrente Slizza; (si veda figura Fig.4-3) dove, in accordo con l'analisi pluviometrica, si osservano deflussi maggiori in quella meridionale con i massimi sul Rio del Lago di Raibl;

- Dalla precedente osservazione segue che, a parità d'area del bacino, il DMV massimo risulta richiesto nelle aste meridionali del bacino che infatti, per quanto visto al capitolo 5, risultavano essere quelle in cui le popolazioni di trota fario evidenziavano maggiore sofferenza,

A titolo di esempio si riporta in figura (Fig.6-25) la determinazione delle aree omogenee nel bacino sotteso dalle prese 493 e 921, mentre in tabella (Tab.6.5.3.3-I) si riassumono i loro valori numerici. I risultati del calcolo della Q_m e della portata di DMV che viene sempre indicata con Q_{DMV}^{PRTA} sono riportati in tabella (Tab.6.5.3.3-II).

Si ricorda nuovamente che, nei calcoli del DMV svolti in questo capitolo, il seguente è l'unico che non ha previsto l'uso della similitudine idrologica e pertanto, sempre considerando che è un calcolo semplificato, verrà utilizzato come strumento di validazione/valutazione della sua adozione.

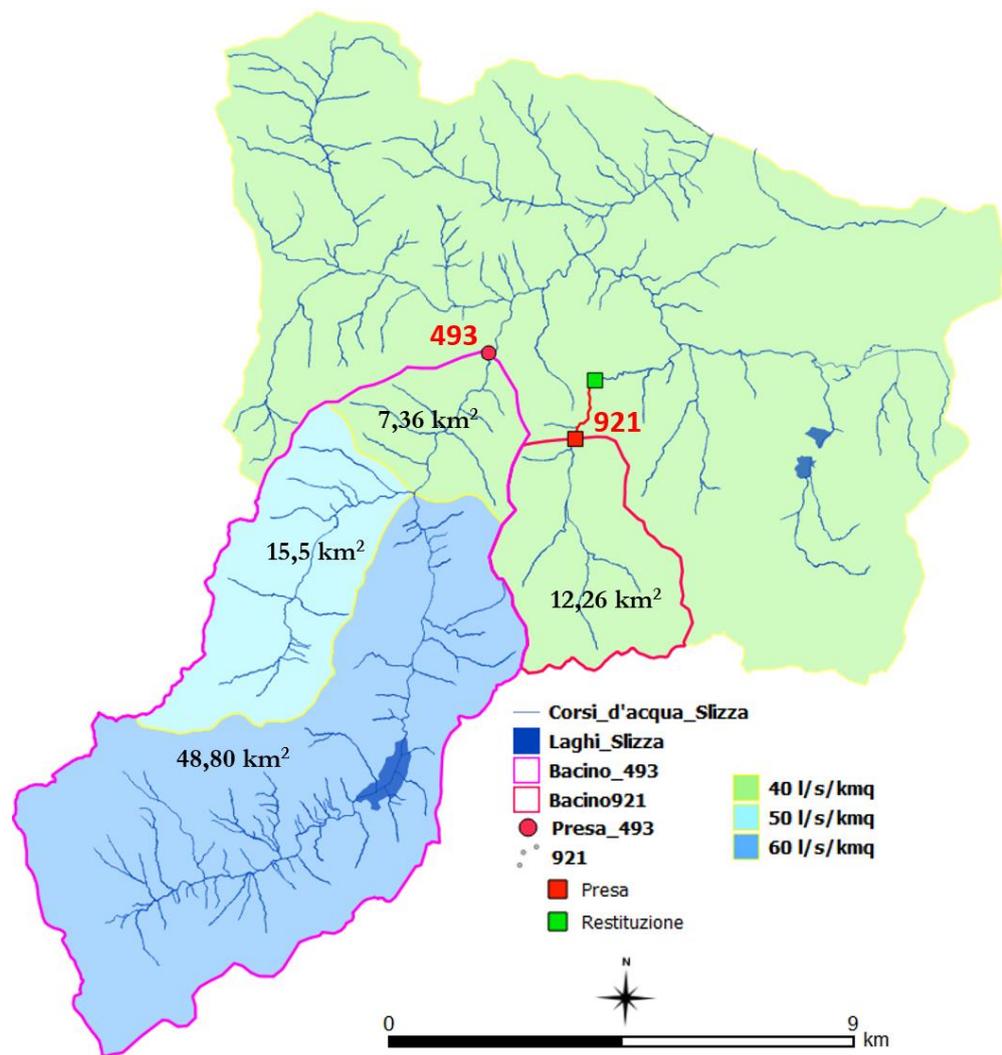


Fig.6-25: Determinazione delle A_i a portata specifica costante nel bacino sotteso dalle prese 493 e 921.

Tab.6.5.3.3-I: Aree delle porzioni di bacino a portata specifica costante-

Sezione/ Presa	Asta fluviale	$A(q=40 \text{ l/s})$ [km^2]	$A(q=50 \text{ l/s})$ [km^2]	$A(q=60 \text{ l/s})$ [km^2]
495	T. Slizza	48.80	15.55	7.21
493	T. Slizza	48.80	15.55	7.36
921	R. Bianco	12.26	0	0

Tab.6.5.3.3-II: Calcolo del DMV secondo il metodo del PRTA con stima semplificata della Q_m .

Sezione/ Presa	Asta fluviale	A [km ²]	q [l/s]	q _p [l/s]	Q _m [l/s]	Q _{DMV} ^{PRTA} [l/s]
495	T. Slizza	71.56	3162.06	0	3162.06	948.62
493	T. Slizza	71.71	3245.44	0	3245.44	951.32
921	R. Bianco	12.26	490.28	0	490.28	73.54

6.5.4. Confronto dei risultati

Si riassumono in tabella seguente (Tab.6.5.4-I) i calcoli delle portate di DMV svolti nelle varie sezioni coi diversi metodi utilizzando le sigle viste in precedenza:

Tab.6.5.4-I: Riassunto dei calcoli della Q_{DMV} con le varie metodologie nelle sezioni in esame.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	CH 36 anni	CH 10 anni	ABR 36 anni	ABR 10 anni	PRTA 36 anni	PRTA 5 anni	PRTA semplif.
493	T. Slizza	467.86	511.85	469.26	513.38	877.44	897.09	951.32
495	T. Slizza	467.09	510.98	468.12	512.12	875.49	895.08	948.62
921	R. Bianco	142.32	149.54	156.73	164.68	74.60	88.59	73.54

Per una visualizzazione si decide di riportare gli andamenti delle Q_{DMV} e le loro differenze relative espresse in percentuale rispetto alle Q_{DMV}^{PRTA} (semplificata) e alla Q_{DMV}^{ABR} (10 anni), ossia:

$$\Delta = \frac{Q_{DMV}^i - Q_{DMV}^{\text{metodo fissato}}}{Q_{DMV}^{\text{metodo fissato}}} \cdot 100 \quad i - \text{esimo metodo}$$

Non essendoci sostanziali differenze di andamento e quindi di considerazioni tra le sezioni analizzate sul torrente Slizza si decide di riportare di riportare solamente i diagrammi relativi alla sezione 493 (Fig.6-26) e 921 (Fig.6-27).

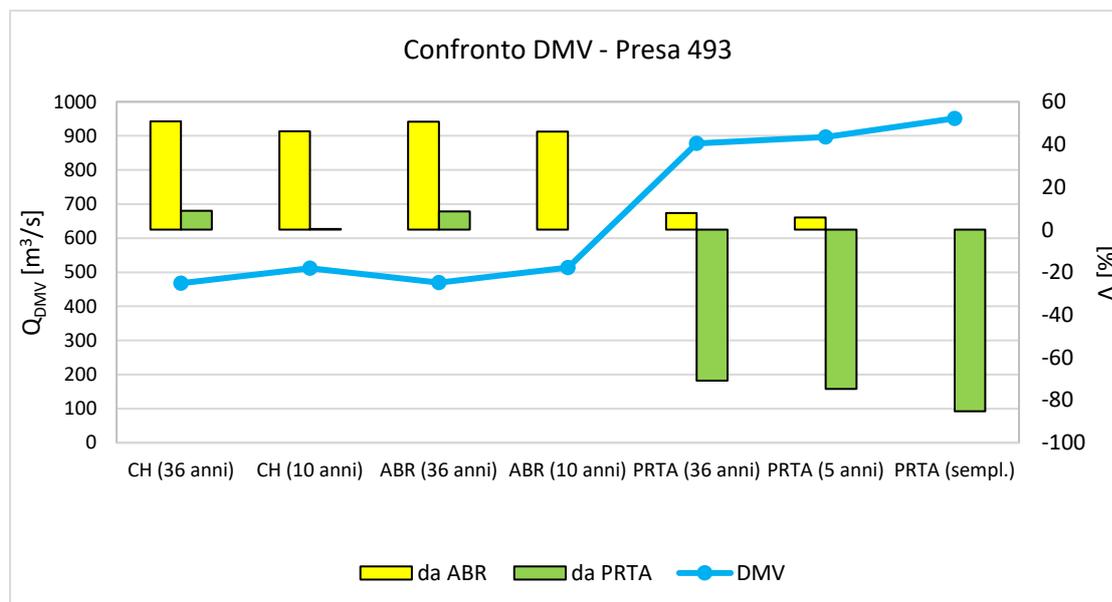


Fig.6-26: Andamenti delle Q_{DMV} e le loro differenze relative – Presa 493.

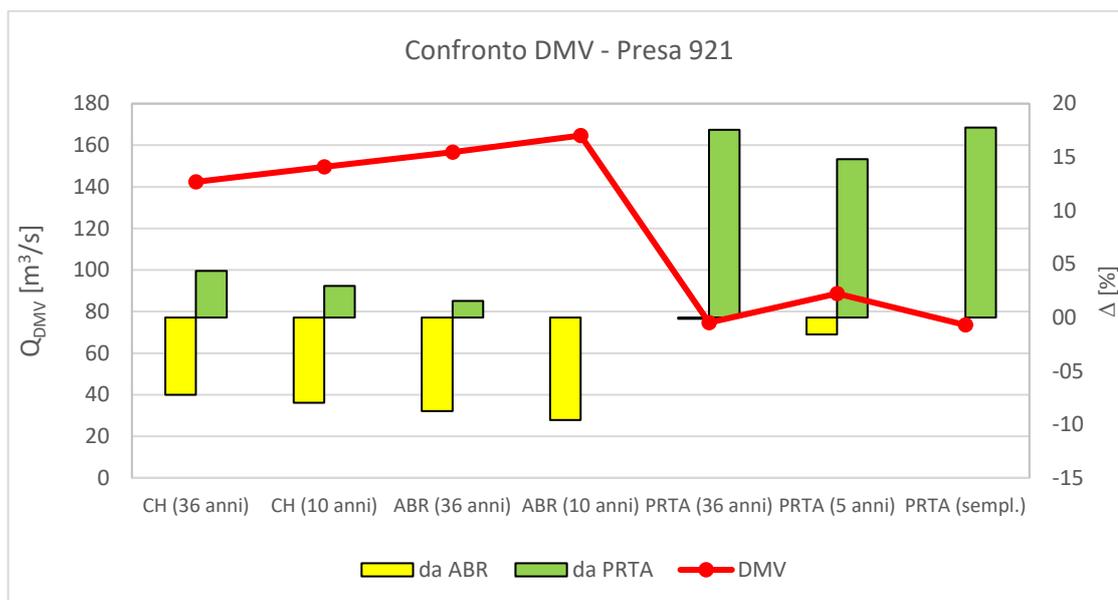


Fig.6-27: Andamenti delle Q_{DMV} e le loro differenze relative – Presa 921.

In base alle tabelle e figure precedenti si può dedurre che:

- per quanto riguarda il confronto, indipendente dalla similitudine idrologica e dal periodo di osservazione, tra i due metodi, Svizzero/ABR e PRTA, si osservano situazioni essenzialmente speculari nelle sezioni analizzate.
Infatti nelle sezioni sul torrente Slizza, come si sospettava già nel paragrafo 6.4.1, il metodo Svizzero porta a valutazioni non cautelative della portata di DMV che risulta circa dimezzata rispetto al PRTA, mentre il contrario si verifica nella sezione 921.
Tale situazione apparentemente contrastante è in realtà corretta e testimonianza delle differenze tra i metodi.
Infatti il metodo Svizzero, come visto nel paragrafo 6.4.1, tende a tutelare i piccoli corsi d'acqua fornendo elevati valori di DMV poco inferiori alla Q_{347} ; logica che è ovviamente contrastante con il metodo del PRTA il cui calcolo è invece proporzionale alla portata ed anzi penalizza, attraverso valori di K inferiori, le aste montane che solitamente hanno dimensioni minori.
Quanto appena detto, tenendo anche conto del problema sul mantenimento della Q_{DMV} nel tratto sotteso, sembrerebbe consigliare l'adozione del metodo Svizzero sulla 921;
- Nelle sezioni sul torrente Slizza dove non vi è "maggiorazione" da parte del metodo Svizzero e seguendo la datazione dei vari metodi, si osserva che i valori di DMV risultano progressivamente aumentare e quindi essere più cautelativi negli anni; questo fatto evidenzia la crescente importanza di questa grandezza e dei temi ad essa legati e suggerisce l'utilizzo di metodologie recenti per la sua stima;
- per quanto riguarda i metodi Svizzero e dell'ABR, come ci si aspettava è più cautelativo, oltre che più corretto, usare gli ultimi 10 anni essendo il comportamento tendenziale delle Q_{347} crescente. Ad ogni modo le differenze non sono elevate (al massimo 8%);
- come già visto, fissato l'intervallo di osservazione, non vi sono differenze sostanziali (circa 0.3%) tra il metodo Svizzero e quello proposto dall'ex-ABR nelle sezioni 493 e 495 essendo le derivazioni praticamente puntuali. Al contrario si riscontrano differenze superiori di circa +4.5% nel metodo dell'ex-Autorità di bacino nella sezione 921 in cui il tratto sotteso è cospicuo;
- per quanto riguarda il metodo del PRTA con stima statistica della Q_m , contrariamente a quanto si era ipotizzato, osservando il comportamento tendenziale decrescente delle portate medie, la valutazione negli ultimi 5 anni conduce a stima cautelativa del DMV. Questo indica che, contrariamente a quanto osservato nel metodo Svizzero utilizzando 10 anni, il periodo degli

ultimi 5 anni non è sufficiente a cogliere il trend decrescente delle portate e conduce a stime troppo locali del DMV.

Tale situazione si verifica in tutte le sezioni con differenze tra le portate non elevate (1.5% ÷ 2%);

- il valore di DMV ottenuto con la procedura semplificata del PRTA risulta essere il più cautelativo nelle sezioni del torrente Slizza (+8% rispetto alle altre stime con PRTA) cosa che però non si verifica nella sezione 921 dove risulta -1.6% rispetto al calcolo con stima della Q_m nei 5 anni.

Questo è probabilmente dovuto al fatto che, rispetto alle altre sezioni, il bacino del rio Bianco è interamente valutato col valore minimo di portata pari a 40 l/s/km².

- a completamento della precedente osservazione è importante sottolineare come, dalla procedura di calcolo semplificata della portata media, si ottengono valori di DMV comparabili con quelli ottenuti attraverso l'utilizzo della similitudine idrologica in quanto le differenze massime sono dell'8% nelle prese 493-495 mentre dell'1.6% nella 921.

Questo importante risultato conferma quanto visto al paragrafo 4.3.3, ossia la bontà di adozione del criterio tra sezioni del torrente Slizza di Thörl – 493 – 495 per valori di portata non elevati. La validità è dimostrata anche tra le sezioni Thörl – 921 sebbene siano differenti per asta di appartenenza e dimensione del bacino sotteso; questo elimina i dubbi posti nel 6.5.1.3 e conferma la sostanziale omogeneità di caratteristiche idrologiche ipotizzata nel capitolo 4.

Alla luce di queste osservazioni, in tutte le sezioni, si decide di adottare per i successivi calcoli il valore di portata valutata col metodo del PRTA attraverso la stima della portata media sui 36 anni, questo perché:

- il metodo è quello attualmente previsto dall'autorità di bacino distrettuale per il bacino del torrente Slizza;
- il valore è cautelativo rispetto a quelli derivanti dagli altri metodi nelle sezioni 493 e 495;
- il valore non è cautelativo nella sezione 921 dove, essendo un corso d'acqua di dimensioni ridotte, gli altri metodi prevedono valori più elevati. Inoltre, come già accennato, la derivazione coinvolge un tratto sotteso elevato nel quale, per preservare la Q_{DMV} , è sicuramente cautelativo aumentarne il valore di portata rilasciato.

Tuttavia l'area del rio Bianco è, come tipico della conca di fusine, ricca d'acqua a causa delle sorgenti, ruscelli e cascate che lo alimentano, il che, partendo dal fatto che la valutazione attraverso PRTA è comunque affidabile come dimostra la coerenza tra procedura semplificata e non, permette di ritenere sovrabbondante l'utilizzo del metodo svizzero.

- in realtà tale scelta non è cautelativa nemmeno tra i calcoli svolti seguendo il PRTA. Tuttavia, vista l'assenza di trend nell'andamento della Q_m e l'apparente validità del criterio di similitudine, si ritiene più sensata la stima della Q_m su dati reali di portata.

7. LE TIPOLOGIE DEI PASSAGGI PER PESCI.

Si è fatto già presente nel precedente capitolo che, in presenza di sbarramenti non superabili, il rilascio del DMV non è condizione sufficiente a garantire la continuità e quindi il corretto sviluppo dell'ecosistema fluviale; questo perché in tali situazioni viene a mancare la percorribilità dell'asta richiesta da alcune comunità biologiche vagili componenti l'ecosistema stesso.

Tra queste, le comunità ittiche risultano particolarmente sensibili al problema visto che sono prevalentemente loro a mostrare caratteristiche comportamentali migratorie che (si veda anche paragrafo 5.3):

- possono essere dovute a diversi motivi quali forzature, trofici, riproduttivi e di svernamento;
- possono avere versi di percorrenza dell'asta diversi: verso monte o verso valle;
- possono svilupparsi su tratti d'asta più o meno lunghi, tra acque interne e mare o solo in acqua dolce;
- coinvolgono periodi temporali vasti dell'ordine dei mesi e quindi diverse condizioni di regime idrologico delle aste.

È evidente che questi processi possono essere totalmente o parzialmente, interessando solo alcune specie e/o solo in un verso, impediti dalla presenza di sbarramenti, cosa che ovviamente produce una perturbazione dell'equilibrio dell'ecosistema detta frammentazione a cui inevitabilmente segue una riduzione delle popolazioni e della loro biodiversità.

Infatti la frammentazione, oltre a ridurre l'*home range* delle specie ittiche vagili ne inficia la conservazione riducendone la resilienza ad eventi catastrofici improvvisi di varia natura che possono alterare repentinamente le condizioni ambientali attuali ed impedisce il *gene flow* (flusso genico), essenziale per il "rinnovo" delle proprie caratteristiche ereditarie e dunque per il proprio successo adattativo, tra piccole popolazioni o sub-popolazioni (GRAIA, 2011).

Tutto ciò deve essere impedito mediante la realizzazione di passaggi per l'ittiofauna, ossia manufatti di ittiocompatibilizzazione dell'ostacolo che fungono da corridoio attraverso lo stesso, permettendo così ai pesci di continuare le loro migrazioni senza accumulo di ritardi inaccettabili che le renderebbero vane (Katopodis, 1992).

Sovente questo tipo di manufatto viene infatti definito "*corridoio ecologico*", in quanto contribuisce al mantenimento dell'equilibrio dell'ecosistema fluviale, non solo intervenendo direttamente sulla fauna ittica e dunque, indirettamente, sui rapporti tra essa e le altre componenti ecosistemiche, ma anche, a seconda delle proprie caratteristiche costruttive e strutturali, su altri elementi e comparti, biotici o abiotici, degli ecosistemi fluviali (GRAIA, 2011).

Più in particolare, questa soluzione permette di:

- evitare che le attuali migrazioni siano impedito da nuovi sbarramenti artificiali. In tal caso le scale diventano a tutti gli effetti degli interventi di mitigazione, essendo il patrimonio ittico un bene a rischio;
- ripristinare le migrazioni attraverso sbarramenti che le hanno ostacolate negli anni passati. In tal caso le scale per pesci risultano essere un intervento di compensazione dello squilibrio creato dall'asincronia tra il rapido sviluppo dell'antropizzazione e quello di una conoscenza ecologica;
- espandere il dominio di migrazione attraverso sbarramenti naturali che le hanno da sempre impedito.

Idealmente, il passaggio andrebbe progettato affinché tali obiettivi siano accessibili a tutti i pesci del bacino ma, come già accennato nel capitolo 5, il problema si semplifica assumendo una specie target ed un tipo di migrazione, quindi anche la fascia di età, rispetto alla quale si dimensiona il manufatto.

Ad ogni modo, queste opere di ingegneria idraulica sono ormai ritenute essenziali per la tutela della biodiversità, mediante conservazione e ripristino del continuum fluviale, in tutti i corsi d'acqua europei ed extra-europei (Ferri, 2010).

Ovviamente la distribuzione di queste opere non è omogenea nel globo, anzi si evidenzia che l'Italia non viene segnalata tra i paesi con importante utilizzo anche se tali opere sono presenti in tutti i continenti; tra questi, soprattutto nell'America del Nord, è interessante osservare che i passaggi di maggiori dimensioni vengono spesso sfruttati anche come attrazione turistica per educare e sensibilizzare alle tematiche ambientali e ammortizzando allo stesso tempo i costi.

È anche vero che, di pari passo con la loro diffusione, si presenta anche il dibattito sulla loro effettiva efficacia; lo scetticismo è ovviamente motivato da studi scientifici (ad esempio Waldman, 2013, Brown et al., 2013) che essenzialmente confutano libertà/volontà con cui i pesci percorrerebbero i passaggi più che la loro abilità o gli aspetti tecnici.

Come ribadito più volte, trattandosi di interventi relativamente recenti e comunque complessi, non è possibile fornire conclusioni sicure sul loro effetto; rimane tuttavia certo che i passaggi per pesci non possono essere considerati una panacea per il problema della frammentazione fluviale.

Anche nel bacino del torrente Slizza, tale soluzione è già stata adottata in diverse sezioni (si veda ad esempio il paragrafo 2.3) ed è proprio oggetto del presente lavoro quello di ipotizzarne un'ulteriore utilizzo per il progetto di ripristino.

Per tale motivo il presente capitolo è dedicato alla descrizione dello stato dell'arte relativo a tali manufatti al fine di affrontarne adeguatamente la progettazione nell'ultimo capitolo.

Anzitutto è ovvio che, come per il DMV, anche i passaggi per pesci risultano un argomento fortemente interdisciplinare nel quale si possono distinguere i seguenti aspetti:

- Normativi;
- Biologici quali ittio-meccanici, comportamentali migratori, comportamentali in senso stretto;
- Idrologici;
- Progettuali quali scelta tipologica, posizionamento, dimensionamento e verifica idraulico-strutturale-geotecnico, monitoraggio;
- Economici;
- Ambientali;

Tutti questi, tra loro interconnessi, rendono piuttosto complessa la corretta progettazione/funzionamento dei manufatti; infatti, mentre alcuni aspetti come ad esempio il periodo di migrazione, le capacità natatorie o quelli idrologici e idraulici possono essere trattati armonicamente mediante approcci razionali, molti altri, come ad esempio le preferenze o le reazioni delle specie ittiche sulle scale, dipendono pesantemente dall'esperienza.

Parte degli aspetti citati è stata già affrontata nei precedenti capitoli dell'elaborato mentre di seguito si cercherà di trattare i restanti, ed in particolare quelli progettuali, in modo da rendere noti criteri che verranno successivamente utilizzati in fase di progetto.

7.1. Il quadro normativo.

Per prima cosa è necessario ricordare che tutto il quadro normativo descritto nel capitolo precedente relativo al DMV può essere esteso anche alle scale di risalita in quanto, come ribadito più volte, queste completano il continuum garantendone la percorribilità.

Infatti si anticipa che spesso proprio questi manufatti sono il corridoio attraverso il quale viene fatta fluire la maggior parte del DMV.

Chiarito ciò, per gli aspetti normativi riguardanti in senso stretto i passaggi per l'ittiofauna, si constata che le opere di risalita per i pesci venivano già considerate dalla normativa nazionale nei primi del '900 in alcuni articoli di regi decreti che sono ancora oggi vigenti e di riferimento per tali opere:

- Regio Decreto n.1486 del 22 novembre 1914 -“Regolamento per la pesca fluviale e lacuale” - Art.6: “...in caso di concessioni di derivazioni d'acqua, a scopo industriale od agrario, il Prefetto dovrà esaminare se occorra prescrivere ai concessionari scale di monta, piani inclinati, graticci all'imbocco di canali di presa, ed altre misure a tutela degli interessi della pesca.....Per le concessioni che già esistono, in caso di reclami ed allo scopo di conciliare gli interessi della pesca con quelli di altre industrie, il Prefetto potrà, seguendo l'anzidetta istruttoria, emanare o proporre le sue menzionate prescrizioni, ovvero ordinare o proporre la modificazione delle scale o degli altri manufatti, per la tutela della pescosità.”.

Art.8: “...è vietato di adoperare o collocare nelle acque reti od altri ordigni da pesca ad una distanza minore di 40 metri dalle scale di monta per i pesci, dai graticci e simili delle macchine idrauliche, dagli sbocchi dei canali, dalle cascate, dalle arcate dei ponti e dai molini natanti, a monte di questi. Il Presidente della Giunta Provinciale ha facoltà di ridurre la distanza stabilita nel comma precedente, in considerazione delle speciali contingenze dei luoghi.”

- Regio Decreto n.1604 del 8 ottobre 1931 – “Approvazione del testo unico delle leggi sulla pesca” che all’Art.10 afferma: “...nelle concessioni di derivazione d’acqua debbono prescriversi le opere necessarie nell’interesse dell’industria della pesca (scale di monta, piani inclinati, graticci all’imbocco dei canali di presa, etc.), in base agli elementi tecnici che saranno richiesti al Ministero dell’agricoltura e delle foreste. Con le stesse modalità possono anche essere ordinate modificazioni in opere preesistenti, e, qualora la costruzione di opere speciali per la pesca non sia possibile, potranno prescriversi al concessionario immissioni annuali di avannotti a sue spese.”.

In tal senso, dal punto di vista puramente normativo, l’Italia ha preceduto di molto tutti gli altri paesi, tra i quali è interessante citare la Francia e il Regno Unito dove i primi riferimenti normativi risalgono rispettivamente al 1984 ed al 1975 (Larinier, 1998 e Armstrong et al., 2010).

Ma in realtà, esclusi casi sporadici di passaggi realizzati in Italia come in altri paesi a cavallo tra la fine del XIX e l’inizio XX secolo, si è visto che, sulla base di questi decreti, non vennero mai realmente realizzate “scale di monta” poiché, essendo l’unico obiettivo delle norme quello di conservare la pescosità delle aste, venne sempre preferita la soluzione mediante semine annuali di avannotti (Regione Piemonte, 2011).

Tale approccio è cambiato solo successivamente, quando la fauna ittica non è stata più considerata unicamente una risorsa economica ma anche una risorsa naturale (GRAIA, 2011); infatti è possibile dire che convenzionalmente la realizzazione dei passaggi per pesci con gli scopi attuali, divenne di uso comune (Regione Piemonte, 2011) solo dopo il recepimento delle normative sulla VIA per le nuove derivazioni definita per la prima volta nella Direttiva 85/337/CEE del Consiglio delle Comunità europee del 27 giugno 1985.

Tuttavia, il definitivo riconoscimento del valore ecologico di queste opere avviene a livello Europeo con la Direttiva 2000/60/CE (che si ricorda è stata recepita in Italia con il D. Lgs. 152/2006).

Il Testo Unico sull’Ambiente infatti considera la continuità del fiume come indice di qualità idromorfologico per la classificazione dello stato ecologico del corso d’acqua e quindi, in relazione a tale elemento, lo stato di un fiume risulterà buono solo se “la continuità non è alterata da attività antropiche ed è possibile la migrazione indisturbata degli organismi acquatici e il trasporto del sedimento”; condizione che, in alcuni casi, conduce alla necessaria realizzazione dei passaggi.

Per completezza si precisa che, nel periodo intercorrente tra i Regi Decreti e gli impulsi comunitari, la “materia-passaggi per pesci” era passata alla competenza delle Regioni attraverso l’Art.100 del decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1977, n° 616 con cui infatti, a ciascuna Regione è delegata disciplina relativa alla “Pesca nelle acque interne” che riguarda “la tutela e la conservazione del patrimonio ittico, gli usi civici, l’esercizio della pesca, il rilascio della licenza, la piscicoltura e il ripopolamento, lo studio e la propaganda, i consorzi per la tutela e l’incremento della pesca”.

In Friuli Venezia Giulia questo passo è stato anticipato infatti, come preannunciato nel paragrafo 6.2.2.2., si richiama nuovamente l’Art.4.bis della L.R. 19/1971; dove, continuando la citazione riportata nel capitolo precedente si trova: “Se necessario, l’Ente tutela pesca prescrive soluzioni per il mantenimento, sia del deflusso necessario alla vita degli organismi acquatici, sia della continuità idrologica e biologica, anche mediante la realizzazione di strutture idonee a consentire lo spostamento della fauna acquatica, nonché prescrive compensazioni alla riduzione di capacità portante e di funzionalità dell’ambiente acquatico e alla discontinuità determinata dall’intervento.”

Da questo estratto risulta chiaro che:

- l’ETP (il cui nome oggi è cambiato in ETPI) è l’organo preposto a imporre o meno la realizzazione dei passaggi per pesci mentre è esente dal compito di monitoraggio;
- i passaggi per pesci sono strettamente legati al DMV che è fondamentale al fine di un loro effettivo funzionamento come corridoi ecologici;
- i passaggi per pesci non sono l’unica soluzione prevista, infatti poco più avanti nell’articolo viene proposta anche quella dell’immissione di fauna ittica.

Come per il DMV, anche per i passaggi per pesci è possibile dire che, il riconoscimento di queste opere a livello normativo ha fornito l'input necessario allo sviluppo di studi tecnico-scientifici, scadenti negli anni '80 ma molto completi nei giorni attuali, che sono l'unico riferimento per la loro progettazione che non è mai trattata dal legislatore.

Bisogna però precisare che nonostante la fervente attività ed organizzazione a livello europeo e a livello locale, della quale la regione FVG mediante l'ETPI è un esempio positivo, la realizzazione di passaggi in Italia risulta fortemente penalizzata dalla mancanza di una Autorità che si occupi di pianificazione, sviluppo e controllo di questi dispositivi; al contrario degli altri paesi come Francia, UK, USA, Canada che difatti sono i veri fautori del progresso tecnico - scientifico (Ferri 1988, Ferri 2010).

7.2. Aspetti biologici.

Come già detto, sebbene la sua funzione risulti o possa essere "ecologicamente" molto vasta, il progetto di un passaggio per pesce viene svolto in relazione ad una data specie target/dimensionante, rispetto alla quale il manufatto deve essere capace di:

- attrarre i pesci nel punto desiderato a valle dell'ostacolo;
- consentire la risalita;
- permettere il superamento dello sbarramento.

Affinché tutto ciò avvenga è necessario considerare anche numerosi aspetti biologici del problema quali ad esempio la composizione specifica della comunità ittica, la biologia, l'auto-ecologia, la fisiologia, precisamente l'ittiomeccanica e l'etologia delle singole specie; inoltre è di interesse il loro stato di conservazione e ad altri aspetti ancora.

Tra le principali operazioni da svolgere si citano le seguenti:

- individuazione delle comunità ittiche presenti nel bacino delle quali si approfondiscono gli aspetti qualitativi e quantitativi delle popolazioni, lo studio dell'habitat e del comportamento migratorio al fine di individuare le specie target sulle varie aste;
- studio delle capacità natatorie quali la resistenza, la velocità massima, ecc.. delle varie specie e degli individui componenti le stesse;
- studio delle capacità di salto delle varie specie e degli individui componenti le stesse;
- studio del comportamento dei pesci dinanzi all'ostacolo.

Si può osservare che, per il caso-studio di questo elaborato, parte di queste operazioni è già stata svolta nel capitolo 5, dove, a seguito di una descrizione quantitativa, qualitativa, zoogeografica e di vagilità delle comunità ittiche presenti nel bacino del torrente Slizza è stata selezionata come specie target la trota fario, in quanto specie migratrice presente sostanzialmente in tutte le aste principali del bacino.

Si ritiene opportuno ribadire l'importanza di questa prima analisi ittica che, come tutte le considerazioni alla base di un progetto, possono facilmente comprometterne l'efficacia ed in alcuni casi anche la necessità.

Per quanto riguarda gli aspetti mancanti che come si nota sono di natura prevalentemente etologica e fisiologica è evidente che la loro conoscenza precisa può derivare esclusivamente da appositi studi sperimentali sulle comunità in esame.

In mancanza di questi è comunque possibile affidarsi ai risultati di studi meno locali ma sempre di natura sperimentale presenti in letteratura e la cui affidabilità è garantita dalla loro presenza, ormai da tempo costante, in tutta la manualistica internazionale (per citarne alcuni: Beach, 1984, Larinier, 1992-2002; FAO/DVWK, 2002; GRAIA, 2011; Armstrong et al., 2010) relativa alla progettazione dei passaggi per pesci.

Quindi di seguito si riportano le definizioni ed i riferimenti per la stima delle caratteristiche natatorie dei pesci e dei meccanismi che le regolano che verranno considerate nel successivo capitolo per la progettazione dei passaggi per pesci.

7.2.1. Principali attività muscolari.

Per prima cosa va detto che in generale per i pesci si possono distinguere tre diversi livelli di nuoto, nei quali intervengono differenti tipi di muscoli (GRAIA, 2010; Armstrong et al., 2010):

- attività di crociera (*cruising activity*): può essere mantenuta lunghi periodi (ore) senza causare nessun rilevante mutamento fisiologico nell'organismo in quanto in essa vi è utilizzo della sola attività muscolare aerobica;
- attività di spunto (*burst activity*): necessita uno sforzo intenso che non può essere mantenuto a lungo, secondo letteratura dai pochissimi secondi a una decina di secondi a più di 20 secondi; variabilità che dipende dalle dimensioni del pesce e soprattutto dalla sua lunghezza, pertanto è generalmente associata a brusche accelerazioni.
In questa attività muscolare tutta la potenza deriva da processi anaerobici
- attività sostenuta (*sustained activity*): può essere mantenuta per alcuni minuti, circa 200, ma stanca il pesce; questa attività di nuoto sfrutta in proporzioni diverse l'attività aerobica e anaerobica.

Questa classificazione evidenzia un legame di inversa proporzionalità tra la velocità e la durata del moto che qualitativamente può essere descritto dalla figura seguente (Fig.7-1) in cui è altrettanto evidente la transizione senza soluzione di continuità e non netta tra le tre attività. La traduzione analitica può invece essere espressa in termini adimensionali come segue (Katopodis e Eng, 1992):

$$Fr = K \cdot t_*^{-\eta}$$

Dove:

- Fr è il numero di Froude calcolabile come $Fr = V/\sqrt{gL}$ con V ed L rispettivamente velocità e lunghezza del pesce;
- t_* è un parametro di tempo adimensionalizzato calcolato come: $t_* = t_{en} \cdot \sqrt{gL}$ con t_{en} pari al tempo in cui il pesce riesce a mantenere V (detto resistenza o endurance time);
- η parametro adimensionale.

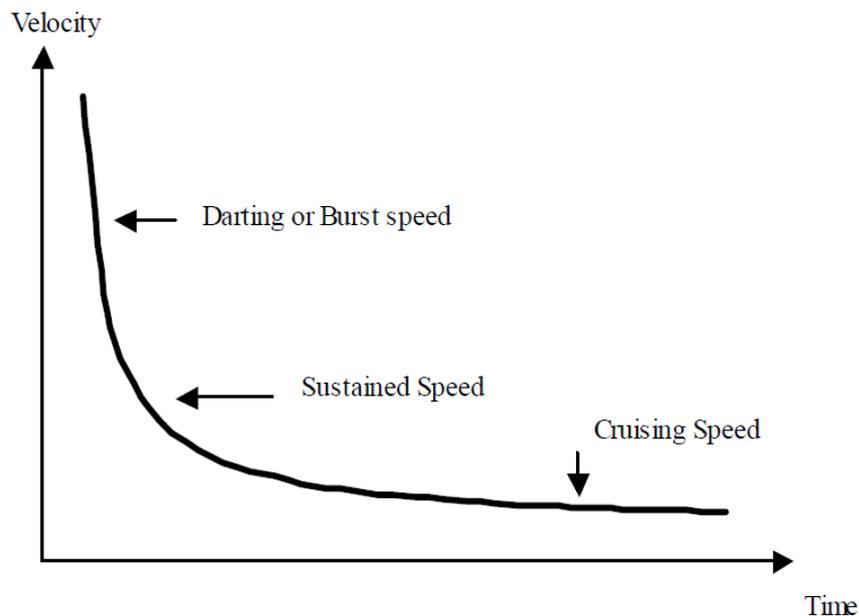


Fig.7-1: Andamento qualitativo della durata dell'attività muscolare svolta (da Clay, 2005).

Di seguito invece si riportano i valori di velocità di nuoto relativi alle varie attività muscolari degli esemplari adulti di diverse specie ittiche (Fig.7-2)

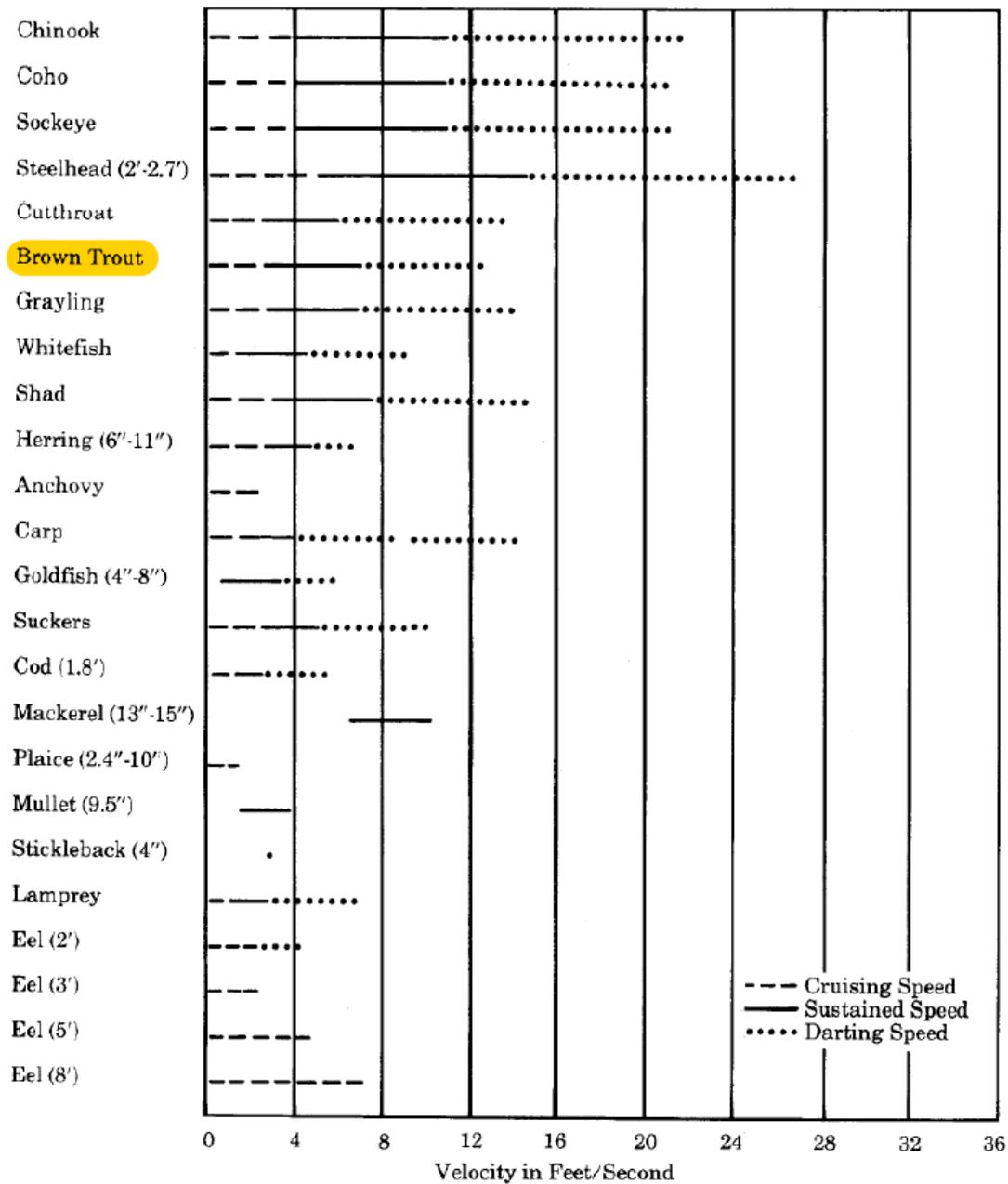


Fig.7-2: Velocità di nuoto di elementi adulti di varie specie – evidenziata la trota fario (da Bell, 1986).

7.2.2. Velocità di nuoto e resistenza.

Assieme alla capacità di salto, uno dei principali parametri biologici che devono essere tenuti in considerazione per la progettazione dei passaggi per pesci è la capacità natatoria del pesce vagile target; questa, come visto nel paragrafo e figure precedenti, si può riassumere attraverso la velocità e resistenza di nuoto.

L'obiettivo è infatti quello di conoscere per quanto tempo il pesce può mantenere la velocità necessaria per superare l'ostacolo.

Come già detto, tali conoscenze derivano esclusivamente da studi sperimentali di ittiomeccanica dai quali si evidenziano i seguenti risultati:

- la principale fonte di propulsione della maggior parte dei pesci, specie durante il superamento degli ostacoli è il movimento ondulatorio della pinna caudale (pinna della coda).
Tale moto ondulatorio avrà una propria frequenza f limitata dal tempo minimo t tra due contrazioni dei muscoli paraventrali del pesce (essendo $f = 1/2t$); grandezza che si è dimostrato sperimentalmente (Zhou, 1982) essere dipendente dalla lunghezza del pesce L e dalla temperatura dei muscoli e quindi (Beach, 1984) dall'acqua T .
Quindi in pratica: $f = f(T, L)$, crescente con L e decrescente con T .
- la distanza A percorsa da un pesce ad ogni ondulazione varia in maniera direttamente proporzionale alla sua lunghezza (Katopodis e Eng, 1992) ed in particolare secondo Wardle (Wardle, 1975):

$$A = (0.6 \div 0.8) \cdot L$$

Si precisa che mancanza di studi appositi tutta la manualistica consiglia l'utilizzo del valore medio 0.7.

Sfruttando queste osservazioni, rifacendosi ad un periodo di oscillazione, è possibile calcolare la velocità di nuoto del pesce come segue:

$$V = A \cdot f \cong 0.7 \cdot \frac{L}{2t} = V(T, L)$$

- l'*endurance time* per cui un pesce riesce a mantenere una data velocità, quindi la resistenza, è calcolabile con la seguente equazione (Beach, 1984):

$$t_{en} = \frac{E}{(P_c - P_r)} = t_{en}(V, T, L)$$

Dove:

- E è l'energia totale del pesce, calcolabile in funzione di L ;
- P_c è la potenza chimica sprigionabile, calcolabile in funzione di T , L e V ;
- P_r è la potenza spesa per assorbire ossigeno, calcolabile in funzione di L .

La conoscenza delle principali variabili dipendenti ha consentito, a seguito di attività sperimentale, la costruzione di importanti abachi utilizzabili per ricavare le capacità natatorie utili a fine del progetto; per il presente elaborato in figura seguente (Fig.7-3) si riporta quello relativo ai salmonidi ai quali appartiene la trota fario target del presente lavoro.

Suddetta espressione sottolinea che le capacità natatorie di un pesce dipendono dalla sua morfologia e dalla temperatura dell'acqua; in particolare successivi studi (Videler, 1993) hanno ricavato anche delle espressioni per il calcolo della velocità massima istantanea V_{max} e di crociera V_{max}^C in funzione della sola morfologia:

$$\begin{cases} V_{max} = 0.4 + 7.4 \cdot L & (\text{valida se } L \leq 50 \text{ cm}) \\ V_{max}^C = 2.3 \cdot L^{0.8} & (\text{valida se } L \leq 55 \text{ cm}) \end{cases}$$

Ovviamente anche per la velocità massima possono essere ricavati abachi come quello precedentemente visto; di seguito, stavolta separando velocità e resistenza, si riportano quelli di relativi ai salmonidi (Fig.7-4 e Fig.7-5)

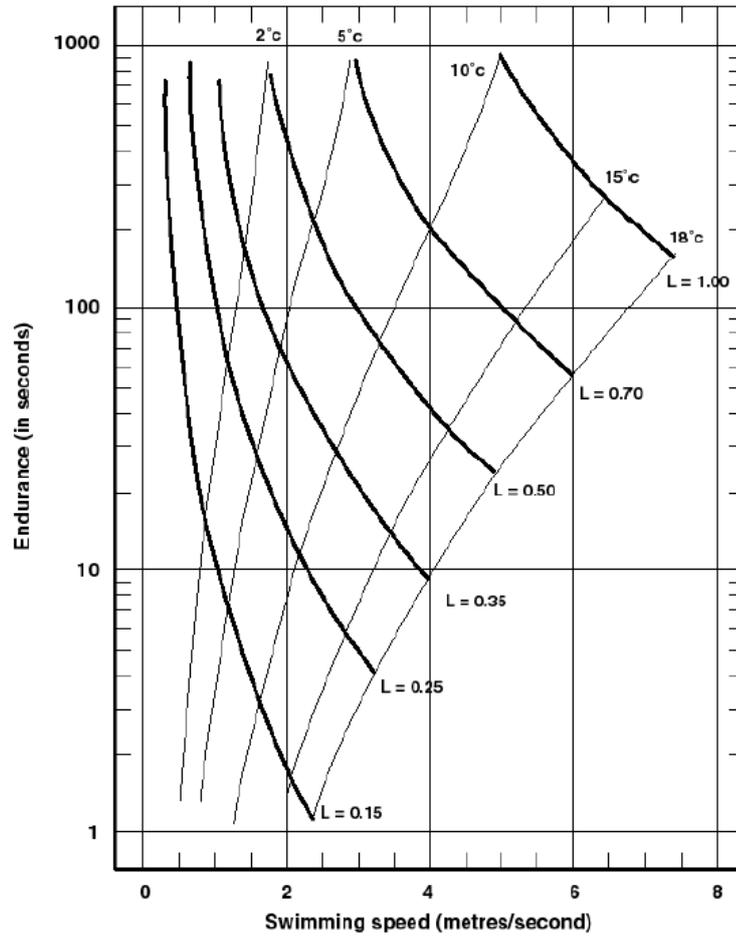


Fig.7-3: Curve di velocità-resistenza relative a salmonidi di varie dimensioni ed a diverse temperature dell'acqua (da Beach, 1984).

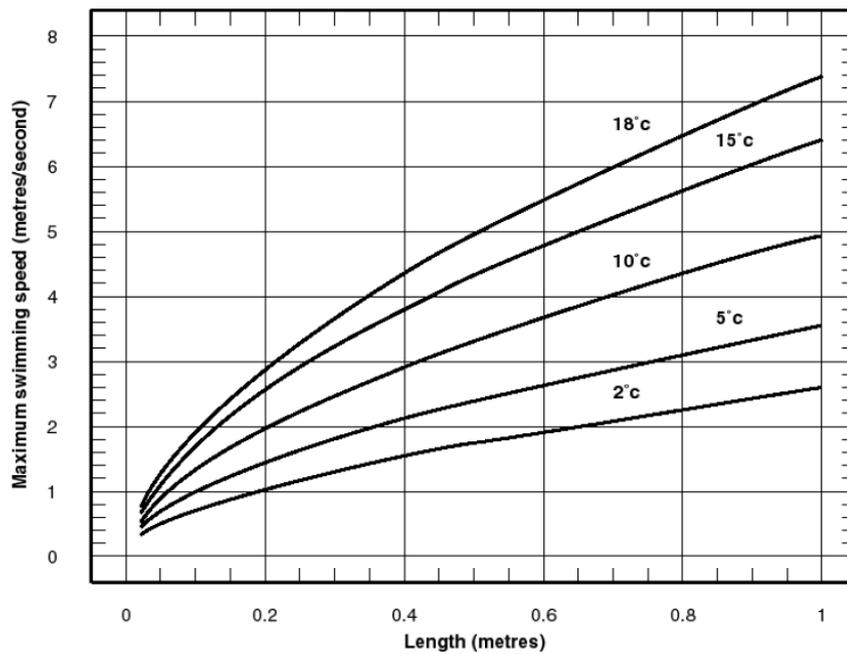


Fig.7-4: Massima velocità di nuoto dei salmonidi a diverse temperature d'acqua (da Beach, 1984).

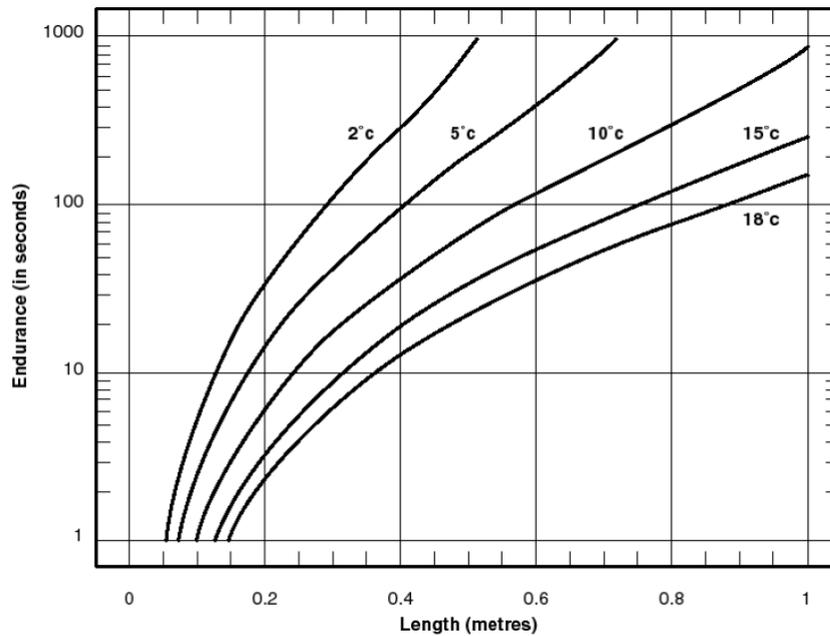


Fig.7-5: Resistenza alla velocità massima dei salmonidi a diverse temperature d'acqua (da Beach, 1984).

7.2.3. Distanza percorsa in relazione alla velocità di corrente.

Note le capacità natatorie di un pesce è possibile determinare la massima distanza D che questo riesce a coprire in una corrente fluida, ovviamente di verso opposto, avente velocità media U attraverso la seguente relazione empirica (Beach, 1984): $D = (V - U) \cdot t_{en}$

Considerando le dipendenze di ciascun termine dell'equazione, usandola possono essere costruiti abachi che consentono di determinare per le varie specie ittiche; in figura seguente si riporta un esempio per i salmonidi (Fig.7-6) che può essere utilizzato anche per la maggioranza delle trote campionate nel bacino del torrente Slizza che presentavano una lunghezza media massima di 28.6 cm.

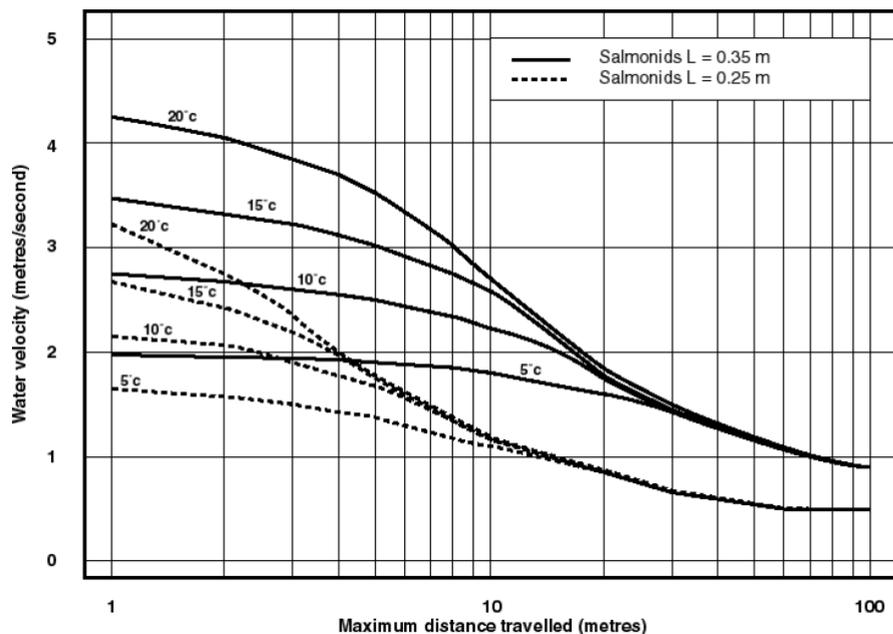


Fig.7-6: Massima distanza percorribile in funzione della velocità della corrente per due lunghezze di salmonidi a diverse temperature (da Larinier, 2002).

7.2.4. Capacità di salto.

Un'ultima grandezza biologica che è fondamentale conoscere per il corretto dimensionamento di un passaggio per pesci è ovviamente rappresentata dalla capacità di salto del pesce stesso, ossia il massimo dislivello che esso riesce a sormontare con un salto.

Ovviamente questa risulta inutile se la specie target non presenta questa abilità comportamentale che si manifesta soprattutto nei salmonidi e quindi anche nella trota fario.

Il calcolo viene svolto ipotizzando che il pesce saltando segua un moto uniformemente accelerato con traiettoria parabolica; per cui, fissando un riferimento cartesiano x-y con origine nella posizione di salto sono note le equazioni del moto e quindi anche il punto di massimo:

$$\begin{cases} x = (V_0 \cos \alpha) \cdot t \\ y = (V_0 \sin \alpha) \cdot t - gt^2/2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x_{max} = \frac{V_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{2g} \\ y_{max} = \frac{(V_0 \cdot \sin \alpha)^2}{g} \end{cases}$$

Dove:

- V_0 è la velocità iniziale con cui il pesce compie il salto ovviamente dipendente dalla temperatura e dalla lunghezza del pesce;
- α è l'angolo rispetto all'orizzontale con cui il pesce compie il salto;

Pertanto le traiettorie risultano dipendere nuovamente da L , T e α ; cosa che permette di sfruttare abachi pre-calcolati, di cui un esempio in figura (Fig.7-7) in modo da avere una conoscenza rapida dell'ordine di grandezza oppure cautelativa del salto di un pesce

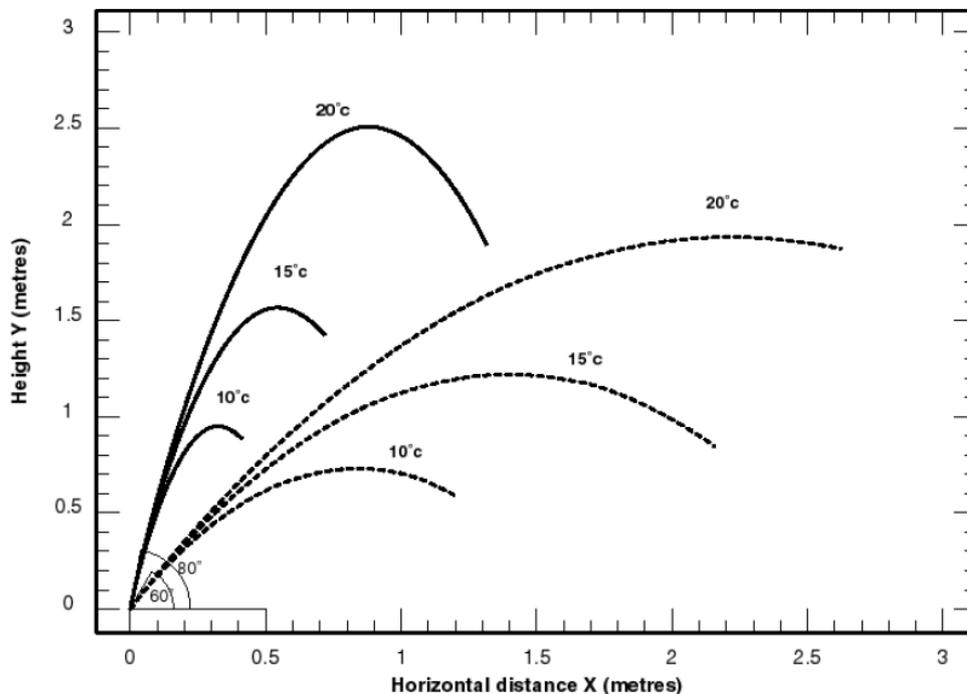


Fig.7-7: Traiettorie di salto per vari α e temperature di un pesce lungo 80 cm (da Larinier, 2002).

Ovviamente, un'altra opzione utilizzabile per ricavare le capacità natatorie dei pesci è quella di utilizzare metodi semplificati/speditivi ricavati sull'esperienza progettuale delle scale di risalita. Un esempio di queste linee guida, relative ai parametri natatori della trota fario in passaggi a bacini successivi e a fenditure laterali, viene riportato in tabella seguente (Tab.7.2.4-I).

Tab.7.2.4-I: Alcune linee guida per dimensionare passaggi a bacini successivi e a fenditure laterali in presenza di trota fario (modificato da Armstrong et al., 2002).

Passaggio	Parametro	Valore per trota fario
a bacini successivi	Velocità massima corrente [m/s]	1.7 ÷ 2.4
	Salto idraulico tra i bacini [m]	0.15 ÷ 0.3
a fenditure laterali	Velocità media corrente [m/s]	1.2 ÷ 1.6
	Lunghezza massima passaggio [m]	8 ÷ 10

7.3. Aspetti idrologici.

Durante tutta la fase di progettazione, prima della scelta tipologica, è molto importante valutare e calcolare i parametri idrologici ed idraulici necessari al progetto.

Si può sicuramente includere in questa fase la stima della portata di DMV e inoltre è consigliabile risolvere in contemporanea anche il problema relativo al posizionamento dell'opera, che verrà descritto nel paragrafo seguente, al fine di ottenere la soluzione ottimale di portata-posizione.

Infatti un aspetto fondamentale per il progetto di una qualunque opera idraulica è ovviamente la stima della portata di progetto per la quale l'opera va dimensionata.

Per i passaggi per pesci, come tutte le opere in alveo, la portata di progetto viene ricavata analisi statistica dei dati idrologici di portata già volta nel capitolo 4; ma, in questo caso, essa deve essere concentrata sui dati relativi al periodo migratorio della specie target in esame.

Come si accennava ad inizio capitolo è fondamentale calcolare la portata di progetto in modo che il ritardo indotto dal suo utilizzo non risulti inaccettabile cosa che, a seconda della specie, può significare mancata riproduzione, decadimento delle riserve di energia e morte.

Studi in letteratura (Katopodis e Eng, 1992) sostengono che, per quanto riguarda la riproduzione dei salmonidi si ritiene sempre ammissibile un ritardo inferiore ai 3 giorni; valori superiori sono ammessi invece con un tempo di ritorno di 10 anni.

Questa portata, detta Q_{3d} ossia la portata che fluente nel passaggio che provoca un ritardo di 3 giorni nella risalita, può essere correttamente calcolata solo se si ha a disposizione un campione consistente di portate giornaliere nel periodo migratorio tale da rendere sensata l'analisi statistica; infatti l'obiettivo sarebbe quello di calcolarne il valore con una frequenza di superamento, e quindi associato ad un tempo di ritorno, di 10 anni.

Qualora si riuscisse a calcolare tale valore diviene corretto assumerlo come portata di progetto dei passaggi per pesci (Katopodis e Eng, 1992).

Di seguito si descrivono gli step necessari per la stima di questo valore di progetto:

- Per ogni anno del periodo di osservazione si stima la Q_{3d} come il massimo tra i valori di portata che sono uguali o superati per 3 volte da 3 giorni consecutivi nel periodo migratorio;
- Si costruiscono le curve di frequenza delle Q_{3d} ordinando in maniera decrescente i valori dei vari anni e calcolando i T_r come inverso della frequenza di superamento;
- Si estrae dalle curve il valore di Q_{3d} relativo ai 10 anni.

Tuttavia in Italia, anziché utilizzare questo metodo basato sul ritardo provocato dalla scala, la scelta viene fatta considerando che in presenza di derivazioni è obbligatorio il rilascio di una portata pari al DMV ed in ogni caso è necessario assicurare l'adeguata attrattività della corrente a valle di uno sbarramento.

Pertanto la portata sul passaggio viene sovente calcolata in maniera speditiva come percentuale del DMV stesso o di altre portate notevoli calcolate sul periodo migratorio.

Queste procedure sono spesso citate in numerose normative e linee guida soprattutto di carattere regionale) di cui si riportano alcuni esempi:

- le linee guida per il calcolo per la progettazione dei passaggi per pesci della regione Toscana evidenzia che “*se (sottointeso nel periodo migratorio) “...un fiume ha una portata nettamente superiore a quella del passaggio per pesci, questo sarà difficilmente individuabile e il pesce non riuscirà a localizzarlo, rimanendo con ogni probabilità nei pressi dello sbarramento.*”

Per stabilire l'adeguato dimensionamento, generalmente la portata da destinare al passaggio per pesci deve essere un valore compreso almeno tra il 1% ÷ 5% della portata media nel periodo migratorio.

In caso di sbarramenti di derivazione (idroelettrico, idropotabile, ecc..), è conveniente alimentare il passaggio con una portata corrispondente al DMV...o ad una sua quota-parte laddove il DMV presenti valori talmente elevati da rendere troppo onerosa la realizzazione di un passaggio con tale portata defluente.”

- Il regolamento regionale del 17 luglio 2007, n.8/R della regione Piemonte all'Art.12 stabilisce che “ove siano prescritte opere per la risalita dell'ittiofauna, il DMV o quota parte del medesimo è fatto defluire attraverso le predette opere...nei casi in cui si prevista la realizzazione di un passaggio per l'ittiofauna attraverso il quale è fatta defluire unicamente una quota parte del DMV deve essere comunque salvaguardata l'attrattività del dispositivo...in ogni caso il filone della corrente di attrazione (portata passaggio di risalita + portata ausiliaria) dovrà essere costituito da almeno il 50% del DMV”.
- La delibera della giunta provinciale della provincia di Torino D.G.P. n. 746-151363 del 18 luglio 2000 stabilisce che il passaggio deve essere reso attrattivo grazie al rilascio di una portata Q_{PAI} (portata per il Passaggio Artificiale dell'Ittiofauna) che deve costituire il filone di corrente principale quando la portata che supera l'ostacolo è pari (o intorno) alla Q_{355} e che si calcola come segue:

$$\begin{cases} Q_{PAI} > 600 + 0.9 \cdot (Q_{DMV} - 600)^{0.8} \left[\frac{l}{s} \right] & \text{se } Q_{DMV} > 600 \frac{l}{s} \\ Q_{PAI} = Q_{DMV} & \text{se } Q_{DMV} < 600 \frac{l}{s} \\ Q_{PAI} > 50 \frac{l}{s} & \text{in ogni caso} \end{cases}$$

Vista la libertà lasciata e le molteplici possibilità per questo calcolo, nel successivo capitolo verranno utilizzati i vari metodi per poi selezionare il valore ritenuto più cautelativo.

Si precisa che, qualora la portata di progetto fosse calcolata in maniera indipendente dal DMV ad esempio attraverso il metodo dei tre giorni di ritardo, a valle del calcolo bisogna verificare la compatibilità del valore ottenuto con il DMV che deve sicuramente essergli superiore.

Più in particolare, per ricercare la soluzione ottimale è bene procedere come segue:

- si calcola la portata di progetto;
- in base alla portata di progetto si seleziona la posizione dell'opera che garantisce i requisiti di attrattività;
- fissata la posizione dell'opera si verifica che l'attrattività e la compatibilità con il DMV

Sempre in ambito idrologico, a corredo del valore di portata di progetto è bene considerare:

- le curve di durata delle portate, in modo da individuare ed eventualmente elaborare statisticamente il numero di giorni nei quali è garantito il funzionamento del passaggio con la portata di progetto.
È generalmente consentita, e quindi va verificata, la limitata operatività della rampa solo nei 30 giorni dell'anno in cui le portate sono massime e i 30 giorni in sono minime perché in questi periodi è si suppone che i pesci non riescano in ogni caso a migrare (FAO/DVWK, 2002);
- La necessità di una manutenzione regolare;
- la curva cronologica delle portate in modo da individuare eventuali periodi in cui il funzionamento è compromesso cioè le piene e/o le magre;
- l'andamento cronologico dei livelli a monte/valle dell'ostacolo. Il loro confronto con i livelli di riferimento associati cioè alla portata di progetto consente di selezionare i valori limite da usare per il dimensionamento della scala (regione Toscana, 2009).

Da un punto di vista più idraulico, l'andamento dei tiranti diventa fondamentale per garantire il corretto funzionamento del passaggio in quanto, la loro conoscenza permetterebbe anche di verificare i periodi in cui non è garantita la profondità minima necessaria al movimento dei pesci; questa grandezza dipende dalla morfologia, quindi dalle dimensioni come anche dalla biologia, quindi dal fabbisogno di ossigeno, ecc..., della specie ed è in ogni caso non è univoca, ad esempio studi svolti in Alaska la pongono pari a 2.5 volte l'altezza D della pinna caudale (Fig.7-8).

Inoltre, in base alle oscillazioni del livello di monte, ovviamente nulle per sbarramenti su invasi, si dovranno prevedere scarichi verticali sul passaggio: uno se oscillazioni tra $0.5 \div 1$ m, più di uno se superiori al metro.

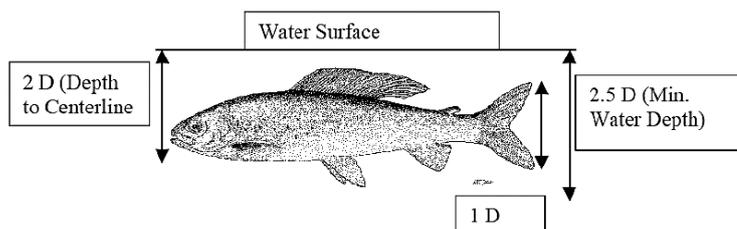


Fig.7-8: Profondità minima per il passaggio dei pesci in Alaska dove D è l'altezza della pinna caudale (Alaska Department of Fish and Game and Alaska Department of Transportation, 2001).

7.4. Localizzazione del passaggio per pesci.

Come appena detto, prima di procedere alla scelta tipologica del passaggio è necessario conoscere la portata di progetto e la localizzazione del passaggio a valle dello sbarramento; anzi sarebbe bene risolvere insieme questi problemi.

La localizzazione del passaggio deve essere tale da aumentare l'attrattività del filone di risalita o più in generale tale da semplificarne l'individuazione e l'approccio della scala alla maggioranza dei pesci che giungono a valle dello sbarramento; aspetto che diventa cruciale, tanto più le dimensioni del passaggio sono ridotte rispetto alla larghezza dell'alveo.

È chiaro che anche la soluzione deve tener conto di molti fattori tra i quali quelli idrologici, geomorfologici, di sviluppo planimetrico-altimetrico dell'opera e soprattutto comportamentali legati l'etologia delle specie.

Di seguito si riportano una serie di osservazioni utili ad un corretto posizionamento (Larinier, 1992-2002; FAO/DVWK, 2002; GRAIA, 2010):

- i pesci ed altri organismi acquatici risalgono le aste fluviali verso monte lungo il filone principale della corrente. Pertanto l'entrata del passaggio deve essere posta nei punti dove la corrente possiede maggiore velocità e turbolenza; cosa che porta a posizionare l'ingresso del passaggio nel punto più possibile a ridosso dello sbarramento, specie nei casi di sbarramento obliqui rispetto alla direttrice del corso d'acqua, dove i pesci tendono sempre a recarsi (Fig.7-9 (a), (b) e (c));
- per le stesse ragioni viste al punto precedente è bene evitare che si formino zone di ristagno morte tra la scala e lo sbarramento che potrebbero disorientare i pesci;
- è preferibile una collocazione spondale piuttosto che una collocazione centrale rispetto allo sbarramento, questo perché i pesci si spostano maggiormente lungo le sponde probabilmente per la velocità di corrente meno sostenuta e per la presenza di rifugi. Si precisa che questa soluzione rende anche più immediata, semplice e sicura la manutenzione ordinaria della struttura (Fig.7-9 (a) e (d));
- tra le localizzazioni spondali sono da preferirsi quelle nelle adiacenze dell'eventuale opera di derivazione esistente perché quest'ultime garantiscono una costante presenza d'acqua che può essere sfruttata anche in condizioni di magra nelle quali non vi sarebbe circolazione d'acqua sull'altra sponda;
- la soluzione di collocare il passaggio in zone intermedie dello sbarramento è conveniente solo in corrispondenza di pozze (*pool*) sufficientemente profonde e con conformazione geomorfologica stabile nel tempo per la permanenza dei pesci, sia a monte che a valle dello

- sbarramento che quindi permettono anche di uscire dalla scala oppure in comprovata presenza di zone di aggregazione dell'ittiofauna presente nel corso d'acqua;
- in presenza di derivazioni idroelettriche, dove l'acqua viene convogliata nelle turbine, è bene porre l'ingresso del passaggio nei pressi ma non eccessivamente vicino allo scarico della centrale dove si hanno elevati valori di turbolenza che attraggono i pesci (Fig.7-10).
Per lo stesso motivo, qualora si decidesse di realizzare il passaggio sulla sponda opposta è bene puntare la turbina verso l'entrata del passaggio e/o restringere l'ingresso di quest'ultima;
 - sempre in presenza di derivazioni bisogna evitare che la velocità della corrente sottratta non sia troppo elevata e tale da richiamare a valle i pesci appena risaliti. Pertanto si consiglia di porre l'uscita dal passaggio a 5 m dalla turbina e, se la velocità supera i 0.5 m/s, è bene prolungarla e proteggerla con un muro di separazione;
 - i punti di sbocco della scala a monte dello sbarramento devono essere localizzati in zone d'alveo stabili che quindi storicamente non hanno subito e non subiscono variazioni geomorfologiche significative o che non sono interessate da evidenti e significativi fenomeni di interrimento o sedimentazione, evitando condizioni di asciutta e quindi preferendo la vicinanza con le direttrici fluviali principali;
 - per assicurare il richiamo dei pesci è bene che la velocità della corrente a valle del passaggio sia compresa tra $0.8 \div 2$ m/s, tendendo a 1 per le specie a capacità natatorie minore come i Ciprinidi, salendo verso 2 nel caso dei Salmonidi.
Situazione opposta si deve verificare a monte dove il passaggio non deve essere collocato in corrispondenza di una zona ad elevata velocità di corrente ma adeguatamente protetto, onde evitare l'intasamento da parte di corpi flottanti. In tal caso la protezione migliore consiste nella creazione di un "bacino tampone o di raccordo" tra il passaggio e la corrente di monte, eventualmente utilizzabile anche per la successiva verifica di funzionalità del passaggio attraverso la realizzazione di cabine di monitoraggio, installazione di sistemi di conteggio;
 - come accennato al primo punto anche la manutenzione delle opere è fondamentale e deve ovviare ai periodici danni causati dal trasporto solido e dall'evoluzione della situazione ambientale, che non deve mai essere trascurata, ma deve rappresentare una parte integrante degli aspetti progettuali.

Tutte queste osservazioni vanno ovviamente inserite nel contesto fisico al fine di valutare la fattibilità ecologica ed ingegneristica della soluzione.

Tuttavia questo tipo di valutazioni sono solitamente fatte a valle dell'intero processo di progetto, ossia a seguito della scelta tipologica e di tutti gli altri accorgimenti di buona-pratica di cui questo necessita per un buon funzionamento; i paragrafi successivi sono appunto dedicati a questi argomenti per i quali è comunque vantaggioso avere prima presenti gli aspetti legati alla localizzazione.

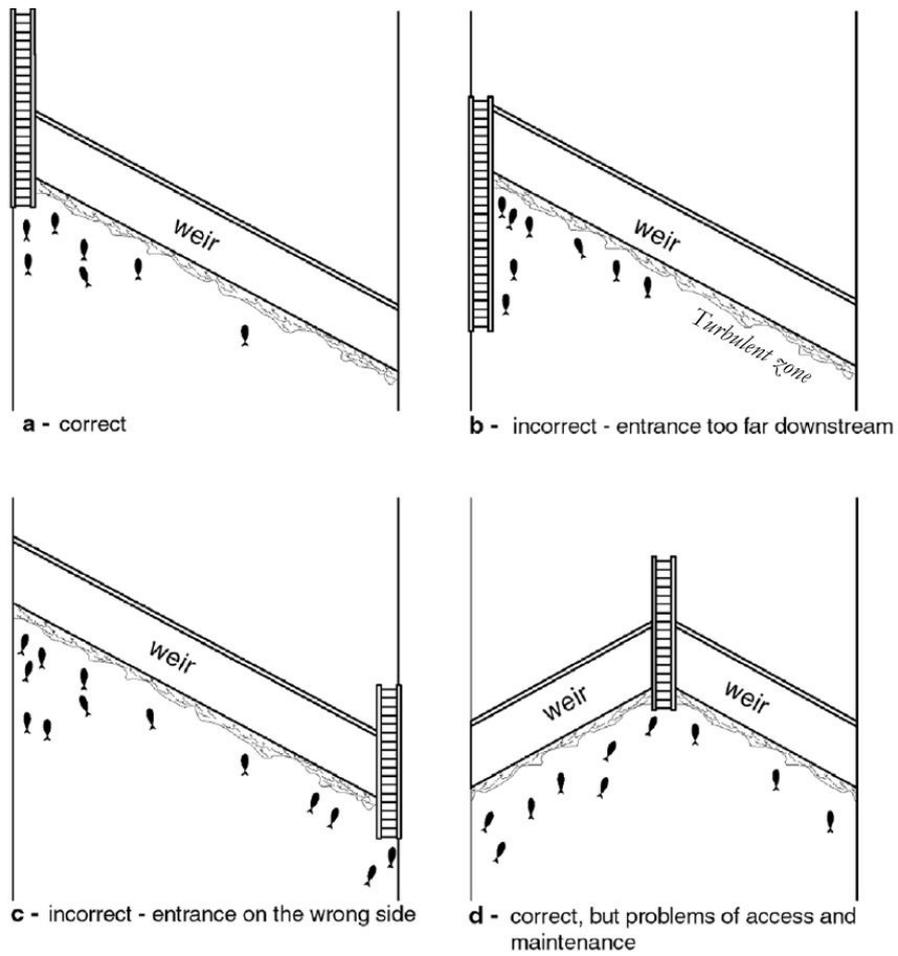


Fig.7-9: Schemi planimetrici delle possibili posizioni di inserimento di un passaggio per pesci in presenza di uno sbarramento obliquo (modificata da Larinier, 2002).

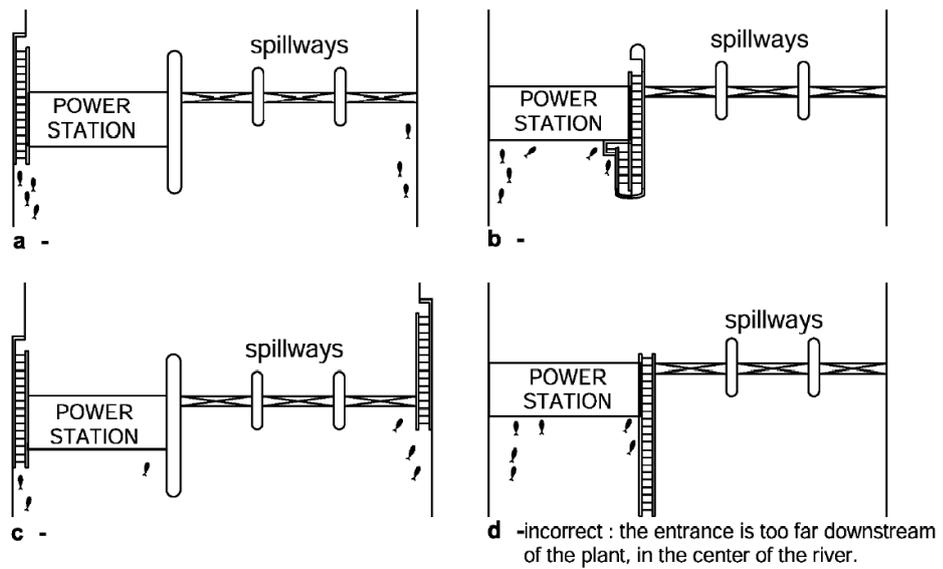


Fig.7-10: Schemi planimetrici delle possibili posizioni di inserimento di un passaggio per pesci in presenza di una derivazione idroelettrica (da Larinier, 2002).

7.5. Scelta della tipologia di passaggio per pesci.

Dopo aver definito il sistema di vincoli localizzati ed aver collezionato tutte i dati idrologici, biologici ed idraulici necessari per il progetto, è possibile procedere all'analisi tecnico-realizzativa che in primis prevede la scelta tipologica del passaggio per pesci.

Ovviamente la scelta dipende da una numerosa serie di condizioni e vincoli dettati dalle caratteristiche ambientali, territoriali, ecologiche, paesaggistiche ed economiche; tra queste, senza ripetere osservazioni già svolte in precedenza, vale la pena citare:

- le esigenze delle comunità ittiche target che usufruiscono del passaggio;
- le caratteristiche idrologiche e idrauliche soprattutto estreme, quindi piene e magre, dell'asta interessata;
- le caratteristiche di altre opere o altri usi della risorsa idrica che si trovano ad interagire con il passaggio per pesci. Si pensi ad esempio alla compatibilità tra il funzionamento del passaggio ed il rilascio del DMV nelle derivazioni di cui si è discusso nel paragrafo 7.3;
- le caratteristiche geomorfologiche del sito vincolano la dimensione dell'opera e quindi anche la tipologia avendo ad esempio ognuna di esse dei limiti di pendenza;
- le caratteristiche dello sbarramento; intendendo non solo quelle fisiche quali dimensioni, tipologia, materiale, ecc... ma anche la previsione dei vantaggi/svantaggi seguenti dall'ittiocompatibilizzazione. Ad esempio la mitigazione sarebbe nulla se lo sbarramento fosse l'unico di una serie ad essere dotato di passaggi;
- valutazioni su costi, manutenzione e metodologie realizzative, specie se lo sbarramento è preesistente o in siti particolarmente critici.

Fortunatamente negli anni sono state sviluppate varie tipologie di passaggi che, attraverso le loro peculiarità, svantaggi e vantaggi consentono di scegliere la tipologia ottimale che, considera tutti gli aspetti appena elencati e soprattutto garantisce attrazione, passaggio e superamento della scala.

In particolare i passaggi per pesci sono classificabili come segue:

- passaggi naturalistici (*close-to-nature passes*);
- passaggi tecnici (*technical passes*);
- passaggi speciali (*special forms*);

Ciascuna di queste macro-classi può essere ulteriormente suddivisa e pertanto nei paragrafi successivi si provvederà alla descrizione di ciascuna di queste tipologie soffermandosi sulle principali peculiarità e sui criteri di dimensionamento.

7.5.1. Passaggi naturalistici (*close-to-nature passes*).

Si dicono passaggi naturalistici quelle opere artificiali realizzate in modo da riprodurre in esse le condizioni morfologiche di pendenza, salti, pozze, le condizioni idrauliche come rapide, zone morte e di materiali, attraverso l'uso prevalente di pietrame e altri materiali rustici, dell'alveo naturale.

Questo stile costruttivo viene detto *close-to-nature* in quanto essenzialmente si opera una ricostruzione artificiale di una porzione di habitat fluviale simile a quello dell'asta o di un suo tributario che attraversa lo sbarramento.

Per queste ragioni i passaggi naturalistici sono sicuramente, dopo una valutazione sulla possibilità di rimuovere il manufatto, la prima soluzione da considerare per il ripristino della continuità fluviale (regione Piemonte, 2009).

Appartengono a questa classe tre tipologie di passaggi:

- rampe o pendii in pietrame sull'intera larghezza dell'alveo;
- canali by-pass;
- rampe per pesci su parziale larghezza dell'alveo;

Segue la descrizione di ciascuna tipologia mentre la procedura di dimensionamento, considerabile unica per tutte le tipologie, verrà affrontata nell'ultimo sottoparagrafo.

7.5.1.1. Rampe o pendii in pietrame sull'intera larghezza dell'alveo (*bottom ramps and slopes*).

Le rampe e i pendii in pietrame (Fig.7-11) sono opere originariamente concepite per la stabilizzazione del fondo o del paramento stesso se in terra, a valle degli sbarramenti; il meccanismo su cui si basano è quello di distribuzione della differenza di carico idraulico esistente tra monte e valle dell'ostacolo, cosa che deve verificarsi su tutta la sezione. Pertanto si tratta di opere che insistono sull'intera larghezza dell'alveo.

Questo compito viene svolto mediante una riprofilatura del fondo per una certa lunghezza a valle dello sbarramento al quale viene assegnata una lieve pendenza in modo da ridurre o annullare il salto idraulico e disperdere la perdita di carico; la stabilità è ulteriormente aumentata dall'uso di massi e pietrame che incrementano la scabrezza del fondo.

Proprio in funzione della nuova pendenza si distinguono le rampe aventi pendenza compresa tra 1:3 e 1:10 dai pendii aventi pendenza compresa tra 1:20 e 1:30.

In seguito, con lo sviluppo dei temi eco-idraulici, tali opere sono state individuate come perfetti esempi di ripristino della continuità fluviale e di ittocompatibilizzazione in quanto non aggirano l'ostacolo, riproducono un fondo naturale, hanno lievi pendenze fruibili per la risalita dell'ittiofauna e quindi solitamente inferiori a quelle adottate per le rampe di stabilizzazione ed infine perchè interessano l'intera larghezza dell'alveo.

Ovviamente, gli aspetti da cui derivano i maggiori vantaggi ecologici risultano anche i maggiori vincoli che ne limitano l'applicabilità; infatti, soprattutto il loro elevato ingombro longitudinale e trasversale ne esclude l'utilizzo in presenza di altri manufatti vicini allo sbarramento come ad esempio opere di restituzione della derivazione; infatti la scelta di questa tipologia è quasi sempre fatta in presenza vecchi sbarramenti quali soglie di sistemazione di fondo o, più raramente, sbarramenti di derivazione privi di organi di regolazione.

Inoltre la dimensione della rampa viene anche limitata da valutazioni di tipo economico le quali solitamente ne vincolano ai soli salti inferiori ai $2 \div 3$ m; infatti dal punto di vista costruttivo la rampa prevede un elevato lavoro di movimento terra ed interventi sullo sbarramento ridotti poiché nulli o al massimo si realizza una gaveta sul coronamento a definire l'alveo di magra della rampa.

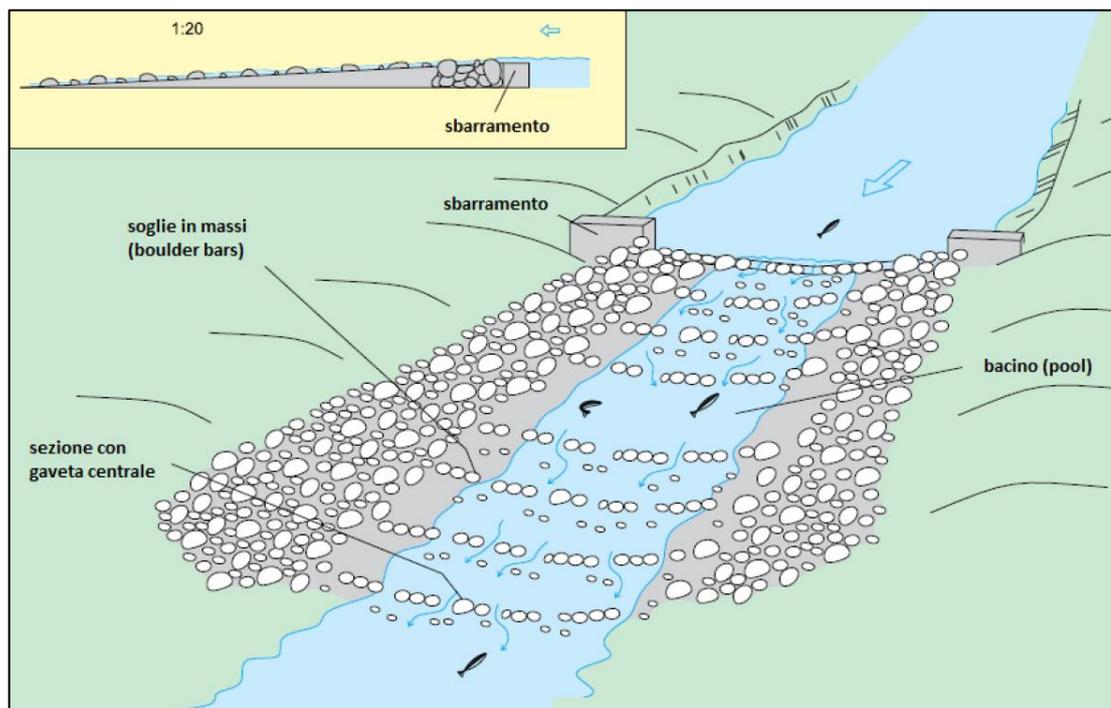


Fig.7-11: Schema concettuale di una rampa in pietrame sull'intera larghezza dell'alveo (modificato da Thorncraft e Harris, 2000).

Questa tipologia di passaggi naturali, come tutte le altre che prevedono la messa in opera di materiale eterogeneo e pietrame, possono essere suddivisi in base alla disposizione altimetrica e planimetrica degli

elementi lapidei; questa infatti influenza in maniera significativa il funzionamento idraulico ad esempio mediante generazione di bacini, zone di riposo nel passaggio e quindi imitando la diversità di un corso d'acqua naturale e, come si vedrà in seguito, avvicinandosi ai risultati dei passaggi tecnici.

Trascurando da ora la differenza rampa/pendio per i quali si userà indistintamente il termine *rampa*, in base alla distribuzione del pietrame si possono individuare tre tipologie; precisando che per queste non esiste una nomenclatura univoca tuttavia si è cercato di utilizzare quella più comune:

- rampe con profilo a massi bloccati (*embedded-boulder o dressed construction*) (Fig.7-12): questa soluzione prevede la realizzazione di uno strato rigido immorsando al fondo massi di elevate dimensioni comprese tra 0.6 e 1.2 m detti *boulder*; questi sono fissati l'uno all'altro con cavi metallici o ad incastro e formano un fondo a rugosità costante e resistente a correnti di forte intensità. I buolders vengono fondati uno strato di ghiaia e ciottoli che deve essere contenuto a monte e a valle da paratie palancoate o micropali non affioranti. In questo caso si deve stabilizzare l'alveo a valle della rampa per una lunghezza di 3÷5 m per evitarne l'erosione. Idraulicamente l'effetto provocato è quello di un cambio di scabrezza e pendenza.

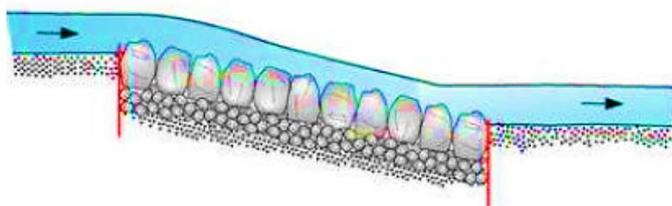


Fig.7-12: Profilo a massi bloccati (da Gebler, 2007).

- rampe con profilo a massi dispersi (*loose construction*) (Fig.7-13): questa soluzione prevede la realizzazione di una struttura flessibile composta da massi sciolti di pezzatura eterogenea dei quali il diametro minimo è scelto in funzione della stabilità dello stesso per eventi di piena per poi incorporare anche elementi di maggiori dimensioni. Lo spessore complessivo deve essere almeno pari al doppio del massimo diametro impiegato e la loro distribuzione può essere garantita dall'uso di pali in legno verticali. Rispetto alla soluzione precedente non è necessario realizzare uno strato di sottofondo con relative paratie se il fondo naturale dell'alveo è sabbioso; mentre è nuovamente necessaria la sua stabilizzazione a valle del passaggio. L'effetto idraulico tra le due soluzioni è il medesimo tuttavia la presente soluzione è migliore dal punto di vista economico ed ecologico in quanto più simil-naturale e favorisce l'inerbimento.

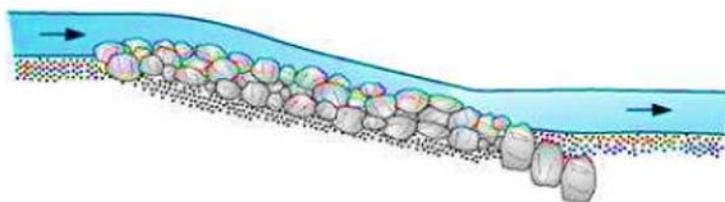


Fig.7-13: Profilo a massi dispersi (da Gebler, 2007).

In queste prime due tipologie di rampe la risalita da parte dei pesci avviene in senza soste e pertanto è conveniente assegnargli una sezione trasversale “a V” tale che:

- in condizioni di magra sia sempre presente un tirante idrico fruibile dall'ittiofauna nella zona centrale che diventa appunto un alveo di magra della rampa;
- in condizioni di piena siano presenti velocità fruibili dall'ittiofauna nelle zone laterali della rampa;

- rampe con profilo a soglie in massi (*boulder bar construction*) (Fig.7-14): questa soluzione prevede nuovamente l'ammorsamento di boulders su fondale preventivamente ricoperto da strato in ghiaia e ciottoli. La loro disposizione deve essere tale da realizzare una successione di soglie, attraverso spazi lasciati tra i massi, e bacini che la rende simile al passaggio tecnico a bacini successivi *pool and wier*.

Ovviamente il funzionamento idraulico è molto diverso rispetto alle due precedenti tipologie di rampe in quanto questa produce una suddivisione del dislivello in una serie di piccoli salti tra vari bacini e quindi segue le leggi delle luci libere.

I criteri di dimensionamento sono gli stessi dei passaggi tecnici, di seguito si riportano alcuni utili accorgimenti:

- i salti tra due bacini successivi devono sempre risultare inferiori a 20÷25 cm;
- le soglie devono essere “permeabili”, ossia garantire il deflusso della corrente attraverso gli spazi e le fenditure di almeno 20-30 cm lasciate libere tra massi affiancati. Allo stesso tempo però la disposizione planimetrica dei *boulders* deve essere tale che il deflusso attraverso le fenditure sia sempre intercettato dalla soglia successiva in modo da evitare la formazione di filoni rettilinei con velocità troppo elevate (Fig.7-15);
- spesso le soglie possiedono uno sviluppo non rettilineo e irregolare per fornire un'ulteriore eterogeneità dei percorsi sfruttabili nella risalita.
- profondità minima dell'acqua nei bacini di almeno 30-50 cm;
- distanza tra le soglie di 2-2,5 m;
- è opportuno che gli stramazzi non siano a vena libera ma parzialmente rigurgitati.

La scelta di questa tipologia consente la realizzazione di pendenze di fondo più elevate (5-6%) rispetto alle altre in quanto vi è possibilità di riposo per i pesci, quindi di conseguenza un minore ingombro che la rende preferibile, specialmente per sbarramenti di altezza superiori a 1,5 m.

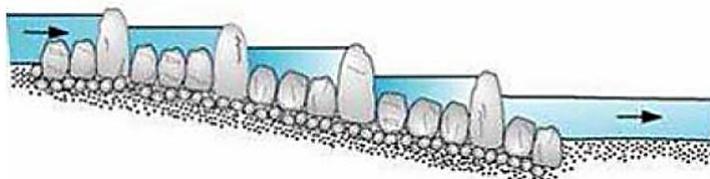


Fig.7-14: Profilo a soglie in massi (da Gebler, 2007).

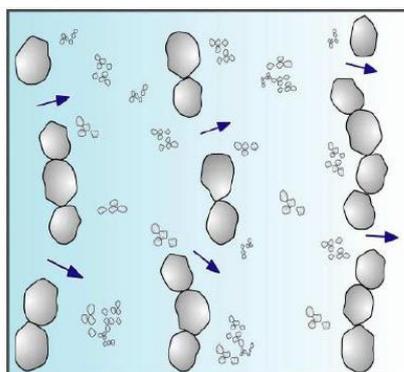


Fig.7-15: Corretta disposizione planimetrica dei *boulders* in una rampa a soglie in massi (da Gebler 2007).

Si conclude sottolineando che suddetta classificazione non è rigida, e va certamente adattata alle condizioni sito specifiche; infatti sovente vengono adottate soluzioni intermedie che integrano fra loro peculiarità diverse delle tre tipologie costruttive. A tal proposito si cita la cosiddetta rampa *single boulder* (Larinier, 2007) che, attraverso una disposizione a quinconce dei massi, mira a creare una rete

di corridoi e di ripari percorribili dai pesci (Fig.7-16). Con riferimento alla figura appena citata si può adottare:

$$a_x = a_y = (2 \div 3) \cdot D \geq 0.3 \div 0.4 \text{ m}$$

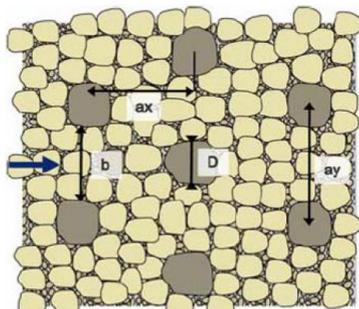


Fig.7-16: Schema planimetrico di una rampa “single boulder” (Larinier, 2007).

7.5.1.2. Canali by-pass (*bypass channels*).

I canali by-pass (Fig.7-17) sono dei canali artificiali realizzati imitando le caratteristiche del un corso d’acqua naturale che aggirano lo sbarramento attraverso un percorso a bassa pendenza.

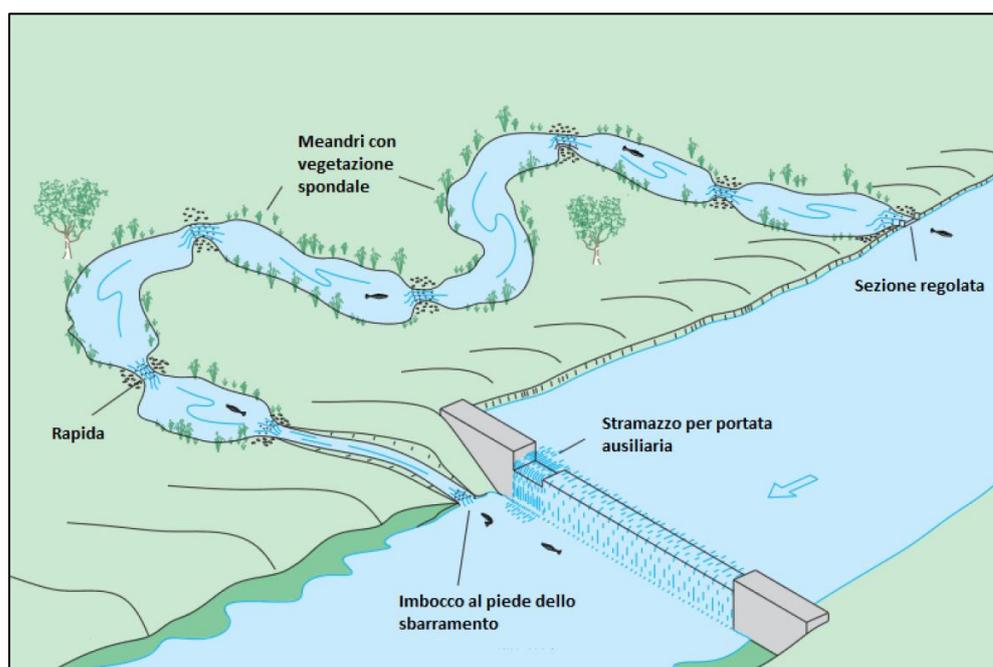


Fig.7-17: Schema concettuale di un canale by-pass (modificato da Thorncraft e Harris, 2000).

Per definizione è una soluzione di ripristino della continuità fluviale molto vantaggiosa in quanto:

- con un adeguato sviluppo altimetrico, avendo valori massimi di pendenza solitamente inferiori al 2÷3%, diventa fruibile dalle specie acquatiche che riescono quindi a superare l’ostacolo aggirandolo;
- con un adeguato sviluppo planimetrico sinuoso e meandrizzato risulta avere un impatto paesaggistico praticamente nullo e viene garantita una facile ricolonizzazione da parte della vegetazione che favorisce la stabilità delle sponde e l’ombreggiamento del canale;
- non richiede alcun intervento sullo sbarramento che viene aggirato o su altre opere ad esso legate il che rende la soluzione adottabile anche in presenza di derivazioni;

- può essere realizzata con tecniche costruttive tipiche dell'ingegneria naturalistica di cui una peculiarità è l'utilizzo del materiale in sito e che, viste anche le dimensioni ridotte rispetto alla rampa, conferisce alla soluzione un basso costo;

Ovviamente per le stesse ragioni possono essere elencati una serie di problematiche legate all'adozione di questa soluzione tra le quali di seguito si citano le principali:

- la necessità di ampi spazi sulla sponda di intervento a causa del vincolo sulla pendenza del canale. Qualora non si avesse lo spazio a monte dell'ostacolo il canale può anche essere sviluppato a valle per poi piegare verso monte aggirando l'ostacolo;
- per poter realizzare l'imbocco del canale in prossimità dello sbarramento risulta necessario un intervento di sbancamento della sponda in quanto spesso la pendenza del canale porta il canale al di sotto del piano campagna. Questi interventi risultano importanti per l'ittiocompatibilizzazione di sbarramenti con altezza elevata (superiore ai 3÷4 m) e possono compromettere la stabilità delle sponde;
- per garantire l'accesso allo sbarramento e la manutenzione del canale è bene dotarlo di attraversamenti;
- bisogna evitare attraverso opere di regolazione sulla sezione estrema di monte che il canale risulti via preferenziale per il deflusso delle piene con conseguente pericolo di stabilità dello sbarramento; in questo caso, sempre per il controllo delle differenze di carico tra monte e valle, un'opera di regolazione che generalmente è una paratoia in c.a. con luce di fondo può essere necessaria anche nella sezione di valle. Tali opere possono essere necessarie anche per la manutenzione;

Tuttavia i bilanci vantaggi/svantaggi svolti confermano che la soluzione del canale by-pass possa essere considerata sempre come la migliore opzione, ove tecnicamente fattibile (regione Piemonte, 2009).

Dal punto di vista costruttivo, visto l'utilizzo dei medesimi materiali, è possibile considerare valido per i canali by-pass tutto ciò che si è visto nel paragrafo precedente in relazione alla messa in opera dei materiali sulle rampe; in caso si utilizzassero diverse soluzioni/disposizioni sullo stesso canale, ogni tratto andrà dimensionato in base alle condizioni idrodinamiche associate.

Inoltre i canali by-pass, in quanto torrenti, si prestano anche ad essere integrati con passaggi di tipo tecnico, soprattutto in tratti dove sarebbe richiesta una pendenza del fondo troppo elevata.

In sintesi è sempre preferibile creare una eterogeneità morfologica a cui segue una variabilità di condizioni idrodinamiche lungo il percorso del passaggio, in modo da incrementarne ulteriormente la fruibilità da parte della fauna ittica. La condizione a cui aspirare può essere definita dalla semplice osservazione delle aste del bacino o in modo da sfruttare anche le innovative metodologie di habitat per calcolo del DMV (si veda 6.4.10), cercando di ricostruire il maggior numero di mesohabitat individuati. Suddetto obiettivo può essere ottenuto inserendo cambi di pendenza, di sezione, di scabrezza, riproducendo una planimetria e una copertura vegetale simile a quella naturale e disponendo il materiale eterogeneo in modo da alternare rapide a pozze di riposo.

Più precisamente è possibile riferirsi alle seguenti prescrizioni:

- pendenza del fondo tra 1:100 ÷ 1:20 in modo che sia compatibile con la natura del torrente e limitando le alte pendenze a brevi tratti, specie nel tratto di imbocco modo da garantire l'attrattività della corrente;
- la larghezza minima del canale by-pass sia compresa tra 0,8 ÷ 1,2 m dove è bene conferire alla sezione trasversale una forma composta in modo da avere sempre un alveo di magra con tirante adeguato (Fig. 7-18);
- la profondità media dell'acqua sia superiore ai 20 ÷ 30 cm o comunque sufficiente a garantire il nuoto della specie target (si veda Fig. 7-8 e Fig. 7-18);
- il salto massimo nei tratti a soglie in massi sia inferiore a 10 ÷ 20 cm;
- la portata sia di almeno 100 l/s per metro di larghezza;
- la velocità medie della corrente intorno agli 0,4 ÷ 0,6 m/s e comunque sempre inferiore a 1.5 ÷ 2 m anche nei tratti di rapida;
- la stabilizzazione del fondo, necessario per la sopravvivenza dei macro-invertebrati, sia garantita posando il materiale su strato di geotessile (Fig. 7-18);
- la pendenza più elevata va assegnata al tratto vallivo del canale per aumentarne l'attrattività;

- le sponde siano eventualmente stabilizzate con semplici tecniche di ingegneria naturalistica utilizzando il materiale lapideo e vegetale reperibile in sito (Fig.7-19).

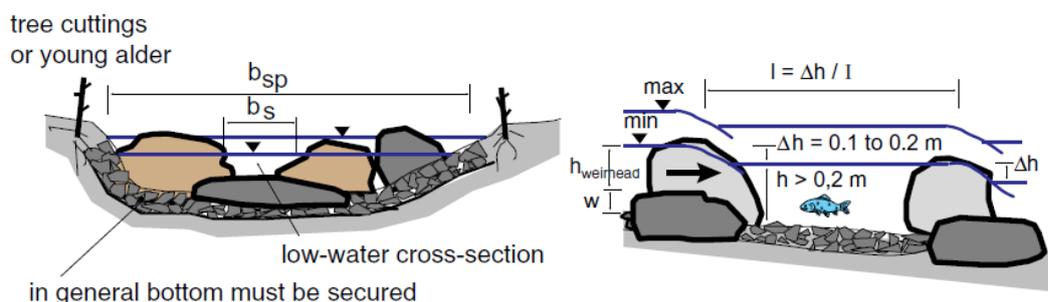


Fig.7-18: Sezioni schematiche trasversale e longitudinale di un canale by-pass (da FAO/DVWK, 2002).

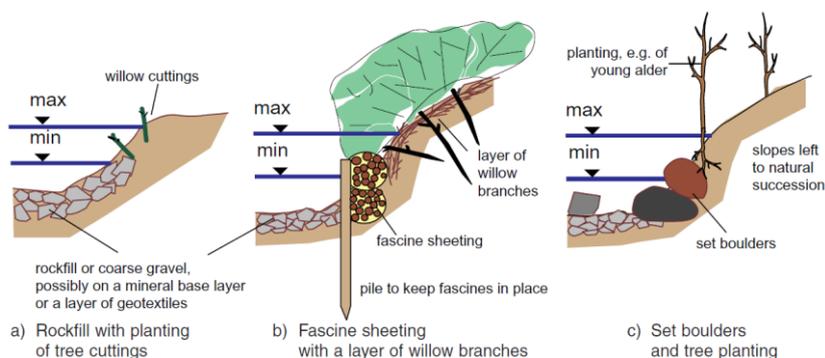


Fig.7-19: Esempi di stabilizzazione spondale attraverso tecniche di ingegneria naturalistica (da FAO/DVWK, 2002).

In figura seguente si riporta uno schema di canale by-pass dotato di tutti gli accorgimenti anzidetti (Fig.7-20).

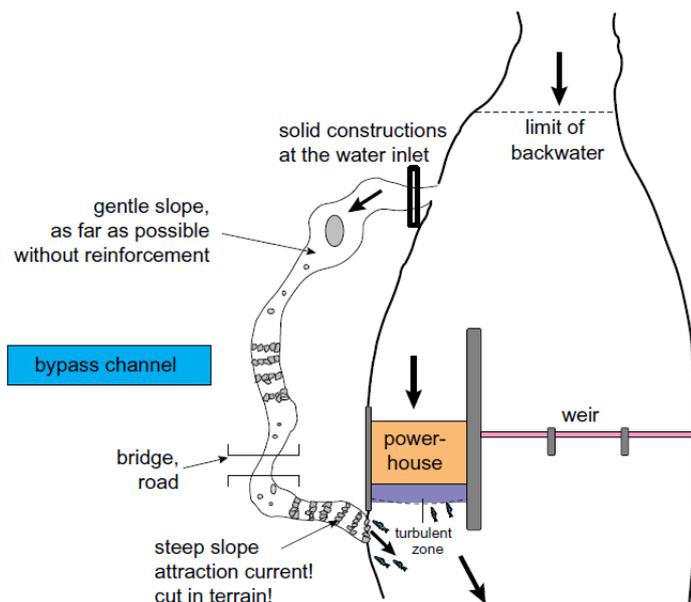


Fig.7-20: Canale by-pass con imbocco in posizione ottimale e longitudinalmente dotato di diverse disposizioni dei massi e pendenze, ponte di attraversamento ed organo di regolazione a monte (da FAO/DVWK, 2002).

7.5.1.3. Rampe per pesci su parziale larghezza dell'alveo (*fish ramp*).

Le *fish ramp* sono rampe in pietrame che però interessano solo parzialmente la larghezza dello sbarramento da ittiocompatibilizzare (Fig.7-21); il ridotto ingombro trasversale rispetto alle *bottom ramp* precedentemente descritte fa sì che questa soluzione:

- possa essere utilizzata anche in presenza di sbarramenti di opere di derivazione o in generale in presenza di manufatti nelle vicinanze dello sbarramento. In questi casi vanno realizzate ovviamente in sponda opposta alla restituzione;
- non abbia funzione di stabilizzante sul manufatto di sbarramento a meno che questo non abbia lesioni concentrate solo su una sponda;
- non debba essere alimentata con l'intera portata di DMV;
- possa avere uno sviluppo longitudinale rampante ripiegato su se stesso al fine di coprire dislivelli col minor ingombro longitudinale.

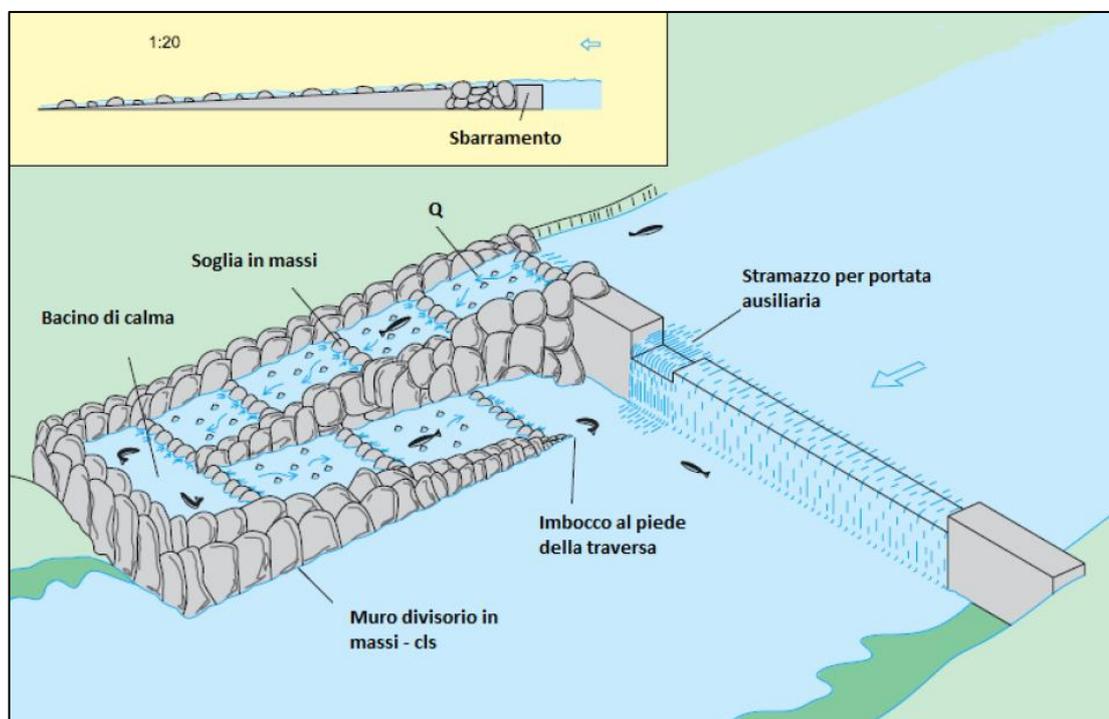


Fig.7-21: Schema concettuale di un canale by-pass (modificato da Thorncraft e Harris, 2000).

Per il resto, ossia per modalità costruttive, materiale, limiti, sottoclassi, si può tranquillamente considerare valido anche per le *fish ramp* quanto visto nel paragrafo 7.5.1.1; si ricorda nuovamente la necessità di realizzare un invito sul coronamento dello sbarramento con sezione dimensionata per derivare la portata di progetto e la preferenza per il conferimento di una sezione “a V” della rampa.

In generale per le *fish ramp* si utilizzano sezioni di larghezza pari almeno a 2 m, con pendenza media del $2 \div 4\%$; i tiranti idrici anche in questo caso dovranno orientativamente essere almeno pari a $30 \div 40$ cm.

Tuttavia, rispetto alle *bottom ramp*, in questa soluzione torna ad essere importante la localizzazione dell'imbrocco alla rampa che era non presente nella prima soluzione.

Infatti quest'ultimo insiste solo su una porzione dell'alveo e quindi l'approccio da parte dei pesci non è scontato; più precisamente, qualora si trovasse ad una distanza troppo elevata dallo sbarramento, i pesci potrebbero non imbroccarlo essendo maggiormente attratti dall'elevata turbolenza al piede dell'ostacolo. Tale problematica può riscontrarsi in presenza di elevate altezze dello sbarramento che richiedono, utilizzando le pendenze ammissibili, uno sviluppo longitudinale elevato; fortunatamente in presenza di una situazione del genere si possono adottare le seguenti soluzioni:

- aumentare la pendenza della rampa adottando una disposizione a soglie in massi;
- se l'alveo è di limitata larghezza, si può realizzare a valle dello sbarramento una soglia in massi non valicabile dall'ittiofauna di altezza circa 40 ÷ 50 cm disposta in modo da forzare i pesci ad imboccare la rampa impedendone l'ulteriore risalita in alveo verso il piede dello sbarramento esistente;
- se nessuna delle precedenti soluzioni fosse praticabile è possibile evitare lo sviluppo rettilineo della rampa assegnandogli un andamento rampante come quello in figura precedente. In tal caso, nel cambio di direzione è necessario prevedere un bacino di ampie dimensioni che funga da zona di calma intermedia durante il percorso di risalita e muri di sostegno preferibilmente in c.a. laterali di dimensioni adeguate.

Si nota che tale soluzione è sicuramente la meno intuitiva per la fauna ittica che dovrebbe abbandonare l'idea di risalita per imboccare la scala; questo può avvenire solamente aumentando il più possibile l'attrattività del passaggio o quanto meno invitando i pesci a stanziare sotto la sponda corretta dell'ostacolo; cosa che, con riferimento alla figura precedente, viene fatto mediante uno stramazzo ausiliario.

Infine è ovvio che rispetto alle precedenti tale soluzione è quella maggiormente impattante dal punto di vista paesaggistico;

- si può mantenere lo sviluppo rettilineo con imbocco nei pressi dell'ostacolo trasladando verso monte la sezione di uscita della rampa. Tale soluzione richiede interventi significativi di consolidamento del manufatto preesistente di cui viene a mancare l'ancoraggio in sponda a seguito dello scavo ed inoltre è praticabile unicamente per sbarramenti che non prevedono invaso a monte;

Invece, se la distanza tra imbocco e sbarramento non è troppo elevata, una soluzione alternativa atta ad aumentare la probabilità di utilizzo della rampa da parte dei pesci, quindi atta a compensare la minore intuitività di questo tipo di scala, consiste nell'assegnargli anche una pendenza trasversale che, al di sopra di certi valori di portata, consenta l'accesso alla rampa lungo tutto il suo sviluppo longitudinale (Fig.7-22). Tale scelta evita anche la formazione di angoli d'acqua ferma ma comporta ovviamente un aumento dell'ingombro ed è pertanto limitata a sbarramenti di difesa fluviale e non di derivazione.

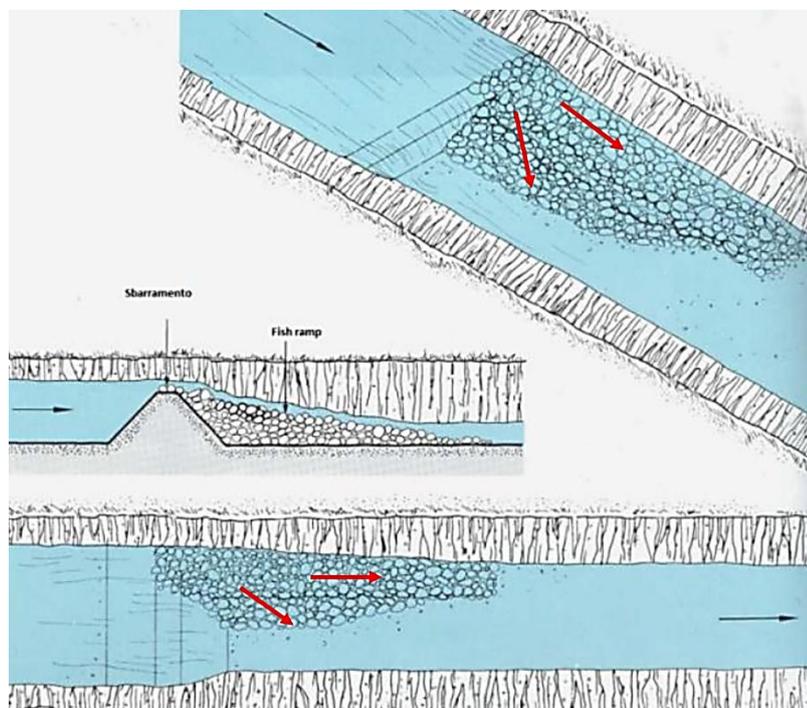


Fig.7-22: Fish-ramp con diverse direzioni di accesso (modificato da FAO, 1998).

Per quanto appena detto è ovvio che, al fine di limitare lo sviluppo longitudinale della rampa, si adotterà per quest'ultimo una configurazione *pools & weirs*; le tecniche costruttive per i bacini successivi sono essenzialmente due:

- con massi secondo la già nota *boulder bar construction* (Fig.7-23). A differenza di quanto visto su questa soluzione nei paragrafi precedenti, nelle *fish ramp*, vista la larghezza ridotta, i massi sono tutti accostati in modo che il deflusso avviene rapidamente nello spazio libero tra l'uno e l'altro, con salti inferiori ai 20 cm e senza che i massi siano mai trascinati. In tale situazione tra le file si devono formare delle zone a corrente minore con profondità dell'acqua non inferiore ai 40 cm e lunghezza di 1.5 ÷ 2.5 m.

Questa soluzione è preferibile quando si necessita di pendenze elevate e rispetto alla successiva richiede un impegno economico-realizzativo sicuramente superiore visto che necessita sicuramente di un muro di partizione laterale in c.a.;

- con pali in legno (Fig.7-24). In questo si realizzano file di pali aventi $\varnothing = 10 \div 30 \text{ cm}$ con interasse longitudinale pari a $(5 \div 10) \cdot \varnothing$ e dove questi sono piantati del fondo o immorsati nel calcestruzzo. Solitamente i pali sono leggermente inclinati nella direzione del flusso per favorirne l'autopulizia e la loro lunghezza fuori terra deve essere tale da evitarne la trascinazione in quanto il deflusso deve avvenire tra loro.

Rispetto alla precedente soluzione, se i pali sono sufficientemente lunghi questa non risente della variazione della portata inoltre è più economica e preferibile qualora l'inserimento di massi fosse troppo impattante.

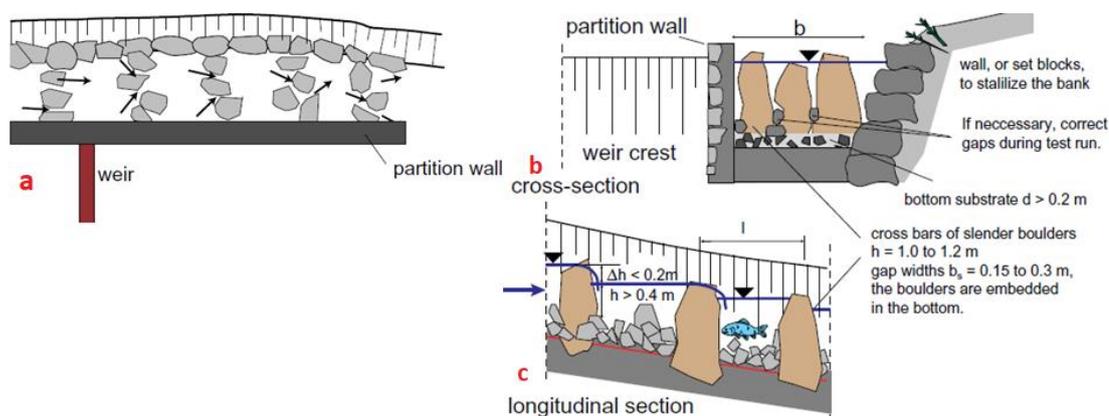


Fig.7-23: Schema planimetrico (a), di sezione trasversale (b), longitudinale (c) e relativi limiti di una *fish-ramp* con configurazione *boulder bar* (modificata da FAO/DVWK, 2002).

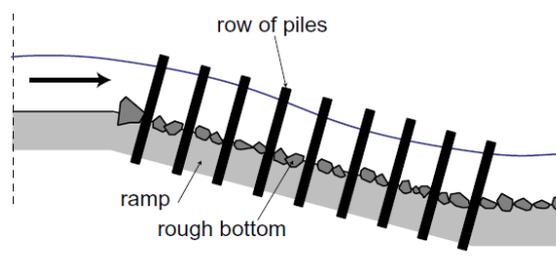


Fig.7-24: Schema di sezione longitudinale di una *fish-ramp* con palificate in legno (da FAO/DVWK, 2002).

7.5.1.4. Dimensionamento dei passaggi naturalistici.

Di seguito si illustrano i calcoli idraulici che sono alla base del dimensionamento di un qualunque passaggio naturalistico; anzitutto è necessario ricordare la differenza tra due portate notevoli:

- portata di servizio, successivamente indicata con Q_d : è la portata di progetto già discussa al paragrafo 7.3 per la quale va dimensionato il passaggio e che dovrebbe essere superata o non garantita solo per pochi giorni all'anno;
- portata critica, successivamente indicata con Q_c : è la portata che si verifica con un certo tempo di ritorno, almeno annuo, e per la quale vanno dimensionati i massi che gli dovranno resistere e quindi verificata la stabilità dell'opera.

Come già detto, in ogni passaggio naturalistico possono essere utilizzate una o più disposizioni dei massi che corrispondono a diverse condizioni idrodinamiche; pertanto di seguito verrà trattata ciascuna di queste possibilità.

7.5.1.4.1. Equazioni del moto su passaggio naturalistico.

Alla luce di quanto visto in questo capitolo (paragrafo 7.3) e nei precedenti (si veda capitolo 6) è possibile affermare che le portate fluenti nel corso d'acqua e la loro porzione destinata al passaggio (Q_d) sono note; pertanto, al fine di ricavare le altre grandezze idrauliche è necessario conoscere l'equazione del moto.

Normalmente è possibile fare riferimento a condizioni di moto uniforme ed adottare la ben nota equazione di Darcy-Weisbach:

$$U = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot R \cdot i} \leftrightarrow Q_d = UA$$

Dove:

- U è la velocità media della sezione;
- A è la sezione liquida;
- R è il raggio idraulico della sezione che è funzione del tirante;
- i è la pendenza del fondo;
- λ è il coefficiente d'attrito.

Lungo l'asta il coefficiente λ è dovuto prevalentemente dalla scabrezza del fondo e può essere stimato con le metodologie note dall'idraulica e che non vengono riportate.

Al contrario è importante sottolineare che, lungo il passaggio naturalistico, la resistenza al moto è data dalla combinazione degli effetti della scabrezza del fondo e di quella dei *boulders* in esso immorsati; segue che:

$$\lambda = \frac{\lambda_s + \lambda_0(1 - \varepsilon_0)}{(1 - \varepsilon_v)}$$

Con:

- λ_0 è il coefficiente d'attrito dovuto al fondo;
- ε_v è il rapporto tra il volume totale dei massi perturbati nel passaggio ed il volume liquido totale nel passaggio:

$$\varepsilon_v = \frac{\sum V_{0,s}}{A \cdot l}$$

- ε_0 è il rapporto tra l'area totale della superficie dei massi perturbati e l'area delle superficie di fondo bagnata del passaggio:

$$\varepsilon_0 = \frac{\sum A_{0,s}}{P \cdot l}$$

- λ_s è il coefficiente d'attrito dovuto alla resistenza dei massi, calcolabile come:

$$\lambda_s = 4 \cdot c_w \frac{\sum A_s}{P \cdot l}$$

Dove:

- P è il perimetro bagnato;
- l è la lunghezza del passaggio;
- $V_{0,s}$ e $A_{0,s}$ sono rispettivamente volume e superficie dei *boulders*;
- c_w è un coefficiente di forma pari a 1.5;
- A_s è la superficie bagnata dei massi, calcolabile come prodotto tra tirante medio e il loro diametro;

Nota la velocità media è possibile calcolare la velocità massima tra i massi, che deve essere compatibile con le capacità natatorie del pesce:

$$V_{max} = \frac{U}{1 - \frac{\sum A_s}{A_{tot}}}$$

Dove A_{tot} è l'area della sezione trasversale senza l'ingombro dei massi.

Tuttavia, con riferimento alla terminologia in figura seguente (Fig.7-25), se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

$$\begin{cases} a_x, a_y = (1.5 \div 3)d_s \\ a_y - d_s > 0.3 \text{ m} \\ h_m/h_s < 1.5 \\ i = 1:20 \end{cases}$$

È possibile adottare le seguenti relazioni semplificate:

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_0 \quad \text{con} \quad \lambda_s = c_w \frac{4A_s}{a_x \cdot a_y}$$

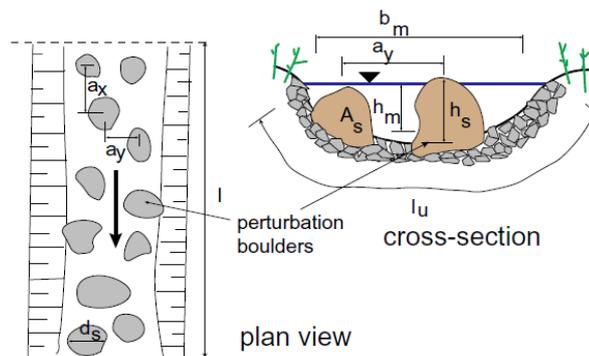


Fig.7-25: Terminologia utilizzata per il dimensionamento delle rampe in massi legno (da FAO/DVWK, 2002).

7.5.1.4.2. Equazioni delle soglie in massi.

Come già accennato, lungo il passaggio naturalistico i massi possono essere disposti in modo da dar vita ad una serie di soglie (Fig.7-26) per le quali è possibile valgono le leggi derivanti dall'idraulica delle luci libere.

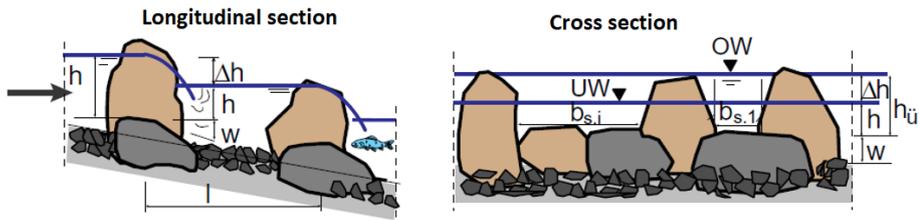


Fig.7-26: Sezioni longitudinale e trasversale di una rampa con soglie in massi legno (da FAO/DVWK, 2002).

Per il predimensionamento è possibile utilizzare la fomula di Poleni:

$$Q_d = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot \left(\sum b_s \right) \cdot h_{head}^{3/2} \sqrt{2g}$$

Dove,

- μ è il coefficiente di portata: $\mu = \begin{cases} 0.5 \div 0.6 & \text{se massi a spigoli vivi} \\ 0.6 \div 0.8 & \text{se massi arrotondati} \end{cases}$
- $\sum b_s$ è la somma delle aperture lasciate dai massi;
- σ è il coefficiente di riduzione del flusso che tiene conto della sommergenza (h_{head}/h) dei massi ed è ricavabile dal seguente abaco (Fig.7-27)

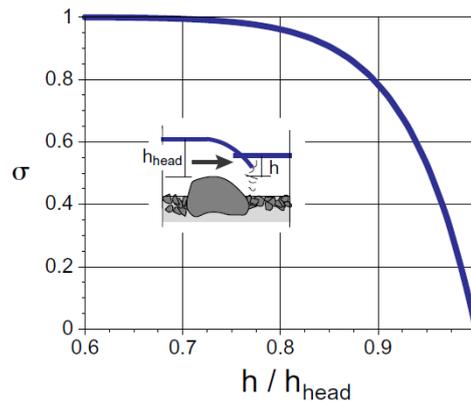


Fig.27: Abaco per la determinazione del coefficiente σ – i tiranti sono riferiti alla testa del masso (da FAO/DVWK, 2002).

Le altre grandezze che è necessario calcolare per la verifica dei limiti sono:

- o la velocità massima, al solito legata al salto idraulico attraverso la formula: $V_{max} = \sqrt{2g\Delta h}$;
- o la densità d'energia dissipata nei bacini, calcolabile come:

$$E = \frac{\gamma \Delta h Q_d}{b h_m (l - d_s)}$$

Dove:

- b è la larghezza media del bacino;
- h_m è il tirante medio;
- l è l'interasse tra le soglie.

7.5.1.4.3. Calcolo della portata critica.

Per quanto riguarda il problema della stabilità dei massi e quindi del passaggio, come noto dall'idraulica, essa dipenderà essenzialmente dal diametro dei massi, dalla pendenza del fondo e dalla portata; il valore corrispondente all'incipiente movimento sarà Q_c .

Esistono numerose relazioni sperimentali che legano queste tre grandezze, quella consigliata (GRAIA, 2011; FAO/DVWK, 2002; Mooney, 2007) è la relazione di Whittaker e Jäggi (1986) che fornisce la portata critica per unità di larghezza:

$$q_c = 0.257 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \cdot \sqrt{g} \cdot i^{-\frac{7}{6}} \cdot d_{65}^{\frac{3}{2}} \quad \left[\frac{m^3/s}{m} \right]$$

Dove solitamente si può assumere la densità dei grani $\rho_s = 2700 \text{ kg/m}^3$ ed un diametro caratteristico $d_{65} \approx d_s/1.06$ ottenendo una formulazione con margine d'errore del 20%.

Per concludere è importante sottolineare che, per tutte le tipologie di passaggio naturalistico, i risultati del dimensionamento idraulico in fase di progettazione non vanno considerati assoluti ma bensì come valori preliminari da verificare durante la fase di realizzazione; questo a causa delle incertezze legate all'eterogeneità dei materiali usati ed alla diversità delle sezioni e condizioni idrodinamiche lungo il percorso.

Diventano quindi fondamentali le verifiche in sito dei tiranti, delle velocità massime e minime, di zone ad elevata turbolenza, di stramazzi non rigurgitati e dei salti tra i bacini per le quali i valori limite sono stati citati in precedenza.

7.5.2. Passaggi tecnici (*technical passes*).

Si dicono passaggi tecnici quelle opere artificiali che, contrariamente a quelli naturalistici, non cercano di riprodurre le situazioni naturali che caratterizzano il corso d'acqua ma, privilegiando l'uso di murature e parti meccaniche, risultano apparentemente più simili alle comuni opere di ingegneria civile (GRAIA, 2011).

I passaggi tecnici sono tra i più antichi passaggi per pesci ideati e la loro attuale presenza ne dimostra la funzionalità (GRAIA, 2011); per tali motivi risultano anche le soluzioni di più comune utilizzo (Camoglio et al., 2006) e su cui è maggiore la ricerca e l'innovazione.

Appartengono a questa classe tre tipologie di passaggi:

- passaggi a bacini successivi (*pool passes*);
- passaggi a fenditure verticali (*vertical slot passes*);
- passaggi di tipo Denil (*counter flow passes*).

In realtà come si vedrà tra breve, la seconda tipologia è solo un caso particolare di *pool passes*; tuttavia, essendo anche una soluzione largamente utilizzata si decide di descriverla a parte.

Segue la descrizione di ciascuna tipologia.

7.5.2.1. Passaggi a bacini successivi (*pool passes*).

Come già visto per le rampe con soglie in massi, il principio sul quale si basa il funzionamento di un passaggio a bacini successivi consiste nella ripartizione del salto idraulico tra il pelo libero di monte e quello di valle dello sbarramento in una serie di dislivelli minori, di uguale altezza, tramite una serie di vasche (*pool*) consecutive, divise tra loro da setti in calcestruzzo, legno, metallo, o altri materiali la cui geometria deve essere tale da consentire la continuità del deflusso tra le vasche.

Quindi in questi passaggi la portata circola attraverso le aperture dei setti, mentre l'energia potenziale viene progressivamente dissipata nei bacini.

I pesci percorrono il passaggio attraverso le aperture dei setti che risultano le uniche sezioni nelle quali affrontano elevate velocità mentre avranno possibilità di riposo nei bacini.

Affinché ciò sia possibile è ovvio che bisogna evitare la formazione di un filone rettilineo alternando la posizione delle aperture nei setti; inoltre è necessario creare un fondale scabro nel passaggio per consentire anche la presenza di comunità bentoniche quindi si richiede la posa di materiale lapideo possibilmente simile a quello presente nell'alveo naturale e disposto in maniera da essere stabile e da garantire la continuità dei vuoti interstiziali.

Ovviamente a seconda delle modalità di comunicazione idraulica tra i bacini, dipendente dalla geometria dei setti, è possibile differenziare un gran numero di questi passaggi; in particolare il passaggio dell'acqua tra le vasche può essere garantito attraverso:

- un orifizio sommerso (*submerged orifice*);
- una fenditura verticale (*vertical slot*);
- uno stramazzo rigurgitato (*weir*);
- soluzione ibride date da combinazione delle precedenti; ad esempio se si associano uno o più orifizi sommersi ad uno stramazzo (*weir and orifice*) o ad una fenditura laterale (*deep side notch and submerged orifice*).

Onde evitare confusione si precisa che nel presente paragrafo verranno descritti passaggi a bacini successivi connessi da orifizi e/o stramazzi rigurgitati (Fig.7-28) mentre nel successivo verranno trattati quelli con fenditure verticali.

Come già detto è fondamentale che il deflusso tra i bacini sia continuo in modo che il pesce possa nuotare da un bacino al successivo senza dover compiere salti e quindi vanno evitati stramazzi liberi, non rigurgitati i quali inoltre produrrebbero una turbolenza nel bacino di valle che renderebbe più complessa la risalita che in questo modo è invece possibile per tutte le specie di pesci.

Per questo motivo bisogna verificare che nelle diverse condizioni idrometriche e quindi nel range di variazione dei livelli di monte, il setto che divide due bacini successivi non venga mai completamente sommerso dalla corrente; unica eccezione in tal senso è l'eventuale rigurgito che può i primi bacini vicini all'imbocco di valle del passaggio nel caso di significativa fluttuazione dei livelli idrometrici in alveo (regione Piemonte, 2009).

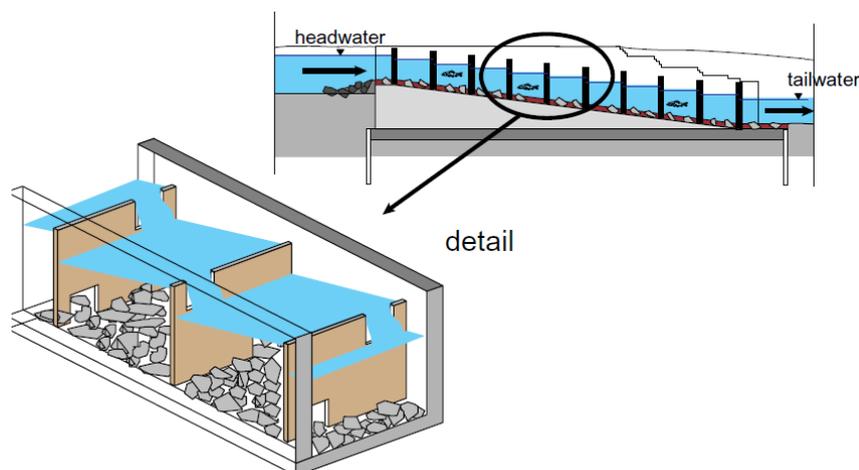


Fig.7-28: Schema di sezione longitudinale e dettaglio assonometrico di un passaggio a bacini successivi con stramazzi ed orifizi alternati (da FAO/DVWK, 2002).

Lo sviluppo planimetrico che era caratteristica molto rigida nei passaggi naturalistici è probabilmente l'aspetto che maggiormente giova dell'utilizzo di una soluzione tecnica a bacini successivi; la maggiore flessibilità in questo senso è data dall'ingombro ridotto, dai materiali utilizzati e dal fatto che tali passaggi sono puramente artificiali.

Lo sviluppo generalmente più utilizzato rimane quello lineare, tuttavia, sempre al fine di ridurre l'ingombro come visto per le *fish ramp*, è possibile realizzare anche sviluppi rampanti ad una o più rampe con cambi nel verso di percorrenza (Fig.7-29) oppure sviluppi ancora più complessi come sono ad esempio quelli a chiocciola che consentono di coprire altezze elevate con minimo ingombro.

Naturalmente queste considerazioni possono essere estese a tutte le tipologie tecniche ed ovviamente in tutti i casi deve essere previsto un muro di partizione solitamente in calcestruzzo prefabbricato o in legno.

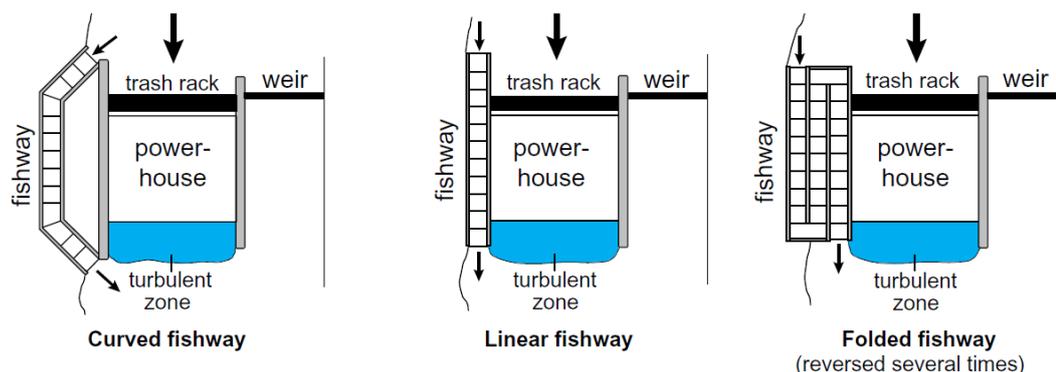


Fig.7-29: Schema di sviluppi planimetrici in un passaggio a bacini successivi (da FAO/DVWK, 2002).

Per quanto riguarda invece lo sviluppo longitudinale del passaggio, al solito questo viene progettato in modo da rispettare il limite massimo sulla velocità; l'esperienza assicura che questo è soddisfatto per salti Δh inferiori ai 20 cm ma è preferibile avere Δh pari a 15 cm in condizioni di flusso normale. Assumendo di utilizzare i tipici valori di interasse orizzontale tra setti $l_b = 1 \div 2.25 \text{ m}$ ne segue che la pendenza ideale per il fondale delle piscine sia:

$$i = \frac{\Delta h}{l_b} = \frac{1}{7} \div \frac{1}{15}$$

Si precisa che i valori di interasse sono stati scelti in modo da limitare le turbolenze nel passaggio; infatti valori inferiori di interasse porterebbero a pendenze maggiori e quindi turbolenze non ammissibili nel sistema.

Quindi, se h_{tot} è la massima differenza di carico registrabile tra le correnti a monte e valle dello sbarramento, il numero di bacini richiesti risulta:

$$n_b = \frac{h_{tot}}{\Delta h} - 1 = n_s - 1$$

Dove:

- n_b indica il numero di bacini;
- n_s indica il numero di setti.

La dimensione di questi bacini deve essere tale da garantire:

- lo spazio per il movimento/riposo dei pesci durante la risalita. Pertanto è fondamentale per dimensionare correttamente i bacini ed i setti conoscere le caratteristiche fisiche e numeriche delle specie presenti;
- una dissipazione con bassa turbolenza dell'energia della corrente proveniente dal bacino precedente. Ovviamente questo deve avvenire facendo in modo che la riduzione di velocità non sia tale da provocare l'eccessiva deposizione di materiale fine che otturerebbe il passaggio ed i vuoti del fondo usati dagli invertebrati e pertanto è consigliata una dissipazione per unità di volume non superiore ai 150 W/m^3 . Unica eccezione per le zone dei salmoni in cui sono consentite dissipazioni pari a 200 W/m^3 .

Tali richieste fanno sì che il dimensionamento *ad hoc* di questo tipo di passaggi, che necessariamente deve derivare da un discorso di ottimizzazione rispetto alle comunità ittiche, risulti sicuramente il più complesso tra tutti (GRAIA, 2011); fortunatamente, come già visto al 7.2.4, in questi casi è possibile riferirsi ad abachi/tabelle di dimensionamento risultanti dalle esperienze nel tempo che quanto meno forniscono limiti e ordini di grandezza.

Per quanto riguarda i *pool passes*, adottando la terminologia in figura (Fig.7-30), è possibile svolgere il dimensionamento facendo riferimento alla tabella seguente (Tab.7.5.2.1-I) nella quale le dimensioni

sono fornite in funzione della specie ittica target; si precisa che la trota fario viene considerata nella classe *upper trout zone*.

Le specie ittiche richiamate in tabella evidenziano come questa soluzione si presti a pesci di qualunque taglia; tuttavia una sua corretta adozione è possibile solo nell'ipotesi di una manutenzione perfetta cioè non vi devono essere ostacoli aggiuntivi e spazio occupato da parte di detrito.

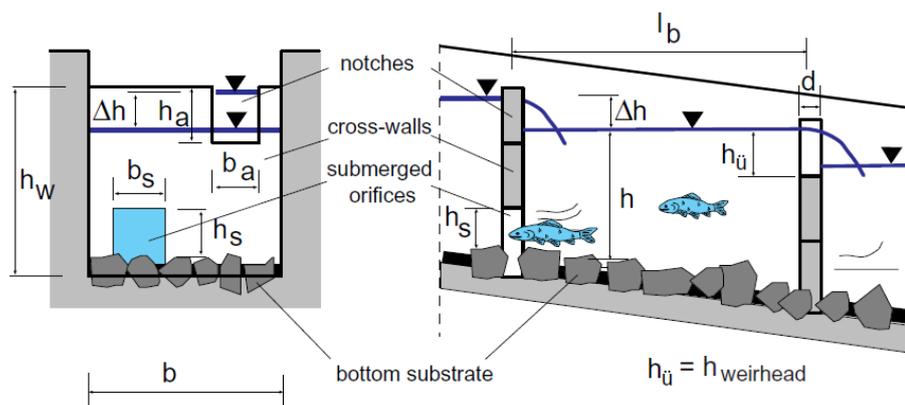


Fig.7-30: Terminologia per il dimensionamento di setti e bacini di un passaggio a bacini successivi con stramazzi ed orifizi alternati.

Tab.7.5.2.1-I: Dimensioni consigliate per *pool pass* in funzione della specie ittica (modificata da FAO/DVWK, 2002).

Fish species to be considered	Pool dimensions ¹⁾ [m]			Dimensions of submerged orifices ¹⁾ [m]		Dimensions of the notches ³⁾ [m]		Discharge through the fiss pass [m ³ /s]	Max. difference in water level [m]
	length	width	water depth	width	height ²⁾	width	height		
	l_b	b	h	b_s	h_s	b_a	h_a	Q	Δh
<i>Sturgeon</i>	5÷6	2.5÷3	1.5÷2	1.5	1	-	-	2.5	0.2
<i>Salmon, Sea trout, Huchen</i>	2.5÷3	1.6÷2	0.8÷1	0.4÷0.5	0.3÷0.4	0.3	0.3	0.2÷0.5	0.2
<i>Grayling, Chub, Bream, others</i>	1.4÷2	1.0÷1.5	0.6÷0.8	0.25÷0.35	0.25÷0.35	0.25	0.25	0.08÷0.2	0.2
<i>upper trout zone</i>	> 1.0	> 0.8	> 0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.05÷0.1	0.2

¹⁾ massimi e minimi sono corrispondenti (vanno scelti insieme)
²⁾ altezza libera sporgente dal sottofondo lapideo
³⁾ si prendono i valori massimi se ci sono sia orifizi e stramazzi
⁴⁾ valori massimi calcolati considerando presenza di orifizi e stramazzi entrambi con dimensioni massime di tabella, valori minimi con solo orifizi di dimensioni minime

È importante sottolineare che i valori riportati in tabella non sono puramente sperimentali ma derivano anche da calcoli idraulici svolti sulla base dei limiti di velocità, dislivello, dissipazione riportati in precedenza; sempre con riferimento alla stessa terminologia, di seguito si illustrano i principi alla base della tabella:

- per quanto riguarda il flusso attraverso gli orifizi (le cui grandezze sono indicate col pedice s), le relazioni utilizzate sono quelle della foronomia:

$$\begin{cases} V_s = \sqrt{2g\Delta h} \\ Q_s = \psi A_s V_s \end{cases} \quad \text{con } \psi = 0.65 \div 0.85$$

Dove il coefficiente di portata ψ è stato stimato in funzione della geometria dell'orifizio e della granulometria al fondo.

Con riferimento a questo sistema, fissando il limite di velocità a 2 m/s, è possibile ricavare il salto tra i bacini e verificare che sia ammissibile ossia inferiore a 20 cm;

- per quanto riguarda il flusso attraverso gli stramazzi (pedice a), il deflusso si stima come:

$$Q_a = \frac{2}{3} \mu \cdot \sigma \cdot b_a \cdot h_{wier}^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g} \quad \text{dove } \mu \approx 0.6$$

Dove σ è il coefficiente di riduzione del flusso che è funzione del rapporto tra il salto Δh e l'altezza della lama stramazza h_{wier} ossia dalla sommergenza. Da questa dipende il fatto che lo stramazzo sia rigurgitato o meno ed è data da:

$$\begin{cases} 1 & \text{se } \Delta h > h_{wier} \\ \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta h}{h_{wier}} \right)^{1.5} \right]^{0.385} & \text{se } \Delta h \leq h_{wier} \end{cases}$$

Nota Q_a è possibile calcolare il deflusso totale tra due bacini come: $Q = Q_s + Q_a$.

- la potenza dissipata nel bacino si stima in maniera analoga a quanto visto nel 7.5.1.4.2. come segue:

$$E = \frac{\gamma \Delta h Q}{b h_m (l_b - d)}$$

Dove h_m è la profondità media nel bacino, che può essere in maniera cautelativa stimata come $h_m = h_{min} + \Delta h/2$ desumendo h_{min} da tabella precedente.

Stimato E si verifica il rispetto del suo limite.

7.5.2.2. Passaggi a fenditure verticali (*vertical slot passes*).

I passaggi a fenditure verticali (*vertical slot passes*) sono una tipologia che venne sviluppata in Canada per consentire la risalita dei salmonidi sul fiume Fraser in Canada e sono state largamente utilizzate a partire dalla metà del XX secolo in tutto il mondo (Larnier, 2002); ad oggi sono considerati la migliore soluzione tecnica a disposizione (GRAIA, 2011).

Sostanzialmente si tratta di un caso particolare di passaggio a bacini successivi in cui il collegamento idraulico tra questi è realizzato mediante una o più fessure verticali realizzate ai lati dei setti (Fig.7-31).

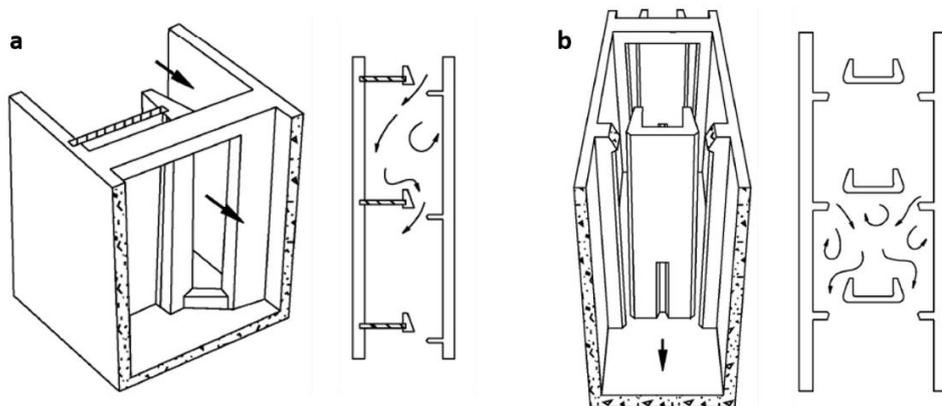


Fig.7-31: Passaggi a fenditure verticali singola (a) e multiple (b) (modificata da Larinier, 2002).

Ovviamente, appartenendo alla stessa tipologia, si possono ereditare tutte le considerazioni riguardanti la planimetria, il profilo longitudinale, i vincoli e quindi le dimensioni dei bacini svolte per i *pool & wier* nel paragrafo precedente (Fig.7-32) ma, un ulteriore accorgimento è necessario in caso di fenditure singole; queste sono disposte sempre sullo stesso lato e quindi devono essere seguite da un piccolo blocco deflettore che devia la corrente verso il centro del bacino evitando la formazione di un filone rettilineo ad alto velocità (si veda Fig.7-31(a) e successiva Fig.7-33).

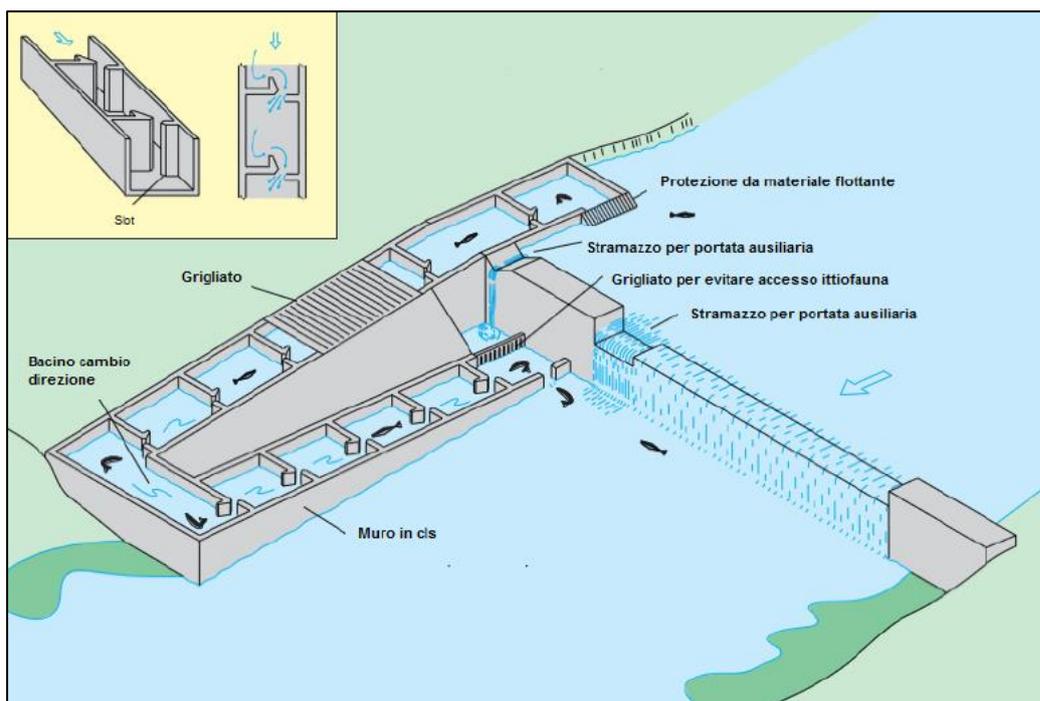


Fig.7-32: Possibile schema concettuale di *vertical slot* (modificato da Thorncraft e Harris, 2000).

Pertanto anche in questo caso è sempre utile riferirsi a studi precedenti per il dimensionamento di tali passaggi; con riferimento alla terminologia in figura (Fig.7-33) si rimanda alla tabella seguente (Tab.7.5.2.2-I) ottenuta dalla sintesi di importanti studi (Katopodis, 1990; Gebler, 1991; Larinier, 1992) svolti su queste scale.

Come si nota la tabella è riferita a passaggi con singola fenditura ed è importante “arricchirla” con le seguenti osservazioni:

- nel caso in cui si preveda la costruzione di due aperture la larghezza b della piscina deve essere raddoppiata in modo da rendere la struttura simmetrica con un altro blocco deflettore;
- si deve verificare che i valori di a ed s adottati siano tali da fornire un angolo α circa pari a 20° per pesci di piccola taglia, mentre di circa $30^\circ \div 45^\circ$ per pesci di dimensioni medio-grandi;
- rispetto ai passaggi con orifizi e stramazzi, quelli a fenditure verticali consentono sempre una dissipazione per unità di volume E pari a 200 W/m^3 ;
- per garantire la sopravvivenza della fauna bentonica è necessario disporre sul fondo uno strato ghiaioso ($d_{50} \approx 60 \text{ mm}$) di almeno 20 cm di spessore tale da ridurre le velocità in prossimità del fondo.

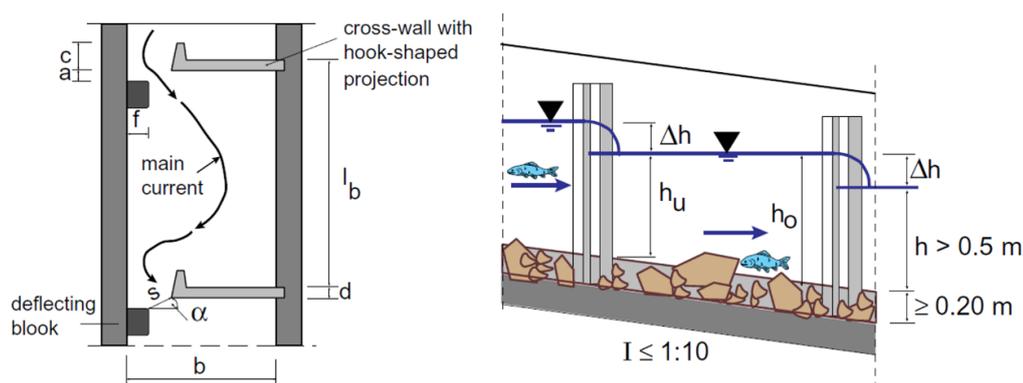


Fig.7-33: Terminologia ed alcuni limiti per il dimensionamento di setti e bacini di passaggi a fenditura verticale singola.

Tab.7.5.2.2-I: Dimensioni consigliate per *vertical slot passes* a singola fenditura in funzione della specie ittica (FAO/DVWK, 2002).

Fish fauna to be considered		Grayling, bream, chub, others		Sturgeon
		Brown trout	Salmon, sea trout, huchen	
Slot width	s	0.15 – 0.17	0.30	0.60
Pool width	b	1.20	1.80	3.00
Pool length	l_b	1.90	2.75 – 3.00	5.00
Length of projection	c	0.16	0.18	0.40
Stagger distance	a	0.06 – 0.10	0.14	0.30
Width of deflecting block	f	0.16	0.40	0.84
Water level difference	h	0.20	0.20	0.20
Min. depth of water	h_{\min}	0.50	0.75	1.30
Required discharge ¹	Q in m^3/s	0.14 – 0.16	0.41	1.40

¹ calculated for $\Delta h = 0.20 \text{ m}$ and h_{\min}

Le relazioni idrauliche da utilizzare in fase di progetto e verifica e dalle quali derivano i valori riportati in tabella sono sostanzialmente le stesse riportate nel paragrafo precedente; si rendono tuttavia necessarie le seguenti precisazioni:

- oltre ai ben noti vincoli su velocità, salto, densità di potenza e portata, in questa tipologia di passaggio è necessario evitare che vi sia uno scarico nella fessura; questo lo si fa verificando che:

$$h_u > h_{gr} \text{ o } V_{\max} > V_{gr}$$

Dove h_{gr} e V_{gr} sono rispettivamente il tirante e la velocità della corrente attraverso la fessura larga s e calcolabili come segue:

$$\begin{cases} h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gs^2}} \\ V_{gr} = \sqrt{gh_{gr}} \end{cases}$$

h_u è il tirante nel bacino immediatamente a valle del setto; mentre V_{max} è il valore massimo di velocità nel passaggio: $V_{max} = \sqrt{2g\Delta h}$

Questo vincolo, in presenza del salto massimo Δh di 20 cm diventa $h_u > 50$ cm ed è considerabile soddisfatto adottando la procedura seguente:

- la superficie del substrato del primo bacino, provenendo da monte, si individua sottraendo al livello idrico di monte la quantità ($\Delta h + 50$ cm);
- la superficie del substrato nei bacini successivi si individua traslando verso il basso di 50 cm il profilo di magra e quindi minimo della corrente.

In questo modo si è costruito un fondo che, anche nelle condizioni peggiori, ovvero quando i livelli idrici minimi nel passaggio, porta sempre al soddisfacimento del vincolo.

- o la portata defluente attraverso i setti si stima come segue:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_r s h_0^{3/2} \sqrt{2g}$$

Dove il coefficiente di portata μ_r è stato sperimentalmente espresso in funzione di h_u/h_0 (Fig.7-34)

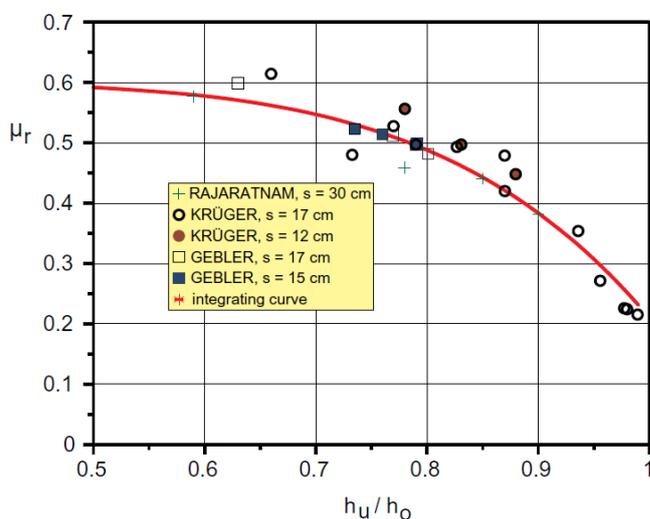


Fig.7-34: Abaco per la determinazione del coefficiente μ_r (da FAO/DVWK, 2002).

7.5.2.3. Passaggi di tipo Denil (*counter flow passes*)

Il passaggio di tipo *Denil* rappresenta il primo passaggio tecnico realizzato con impiego di diaframmi sagomati o meglio deflettori (*baffle fishways*); esso prende il nome dal suo progettista, l'ingegnere belga G. Denil, che lo propose per permettere ai salmonidi di superare la diga Angleur sul fiume Ourthe (Larinier, 2002).

Questa soluzione viene spesso indicata anche col nome *passaggio a rallentamento* in quanto, il principio di funzionamento è appunto quello di ridurre la velocità media del flusso posizionando una serie di deflettori sul fondo e/o sulle pareti di un canale rettilineo avente sezione rettangolare e una pendenza relativamente ripida rispetto agli altri passaggi.

I deflettori, solitamente in legno o metallo, sono posti ad interasse piccolo e regolare e sono inclinati controcorrente (*counter flow*); essi possono avere diverse forme più o meno complesse, purché provochino correnti elicoidali secondarie che assicurano una dissipazione estremamente efficiente di energia della corrente attraverso intensi scambi di quantità di moto (Fig.7-35).

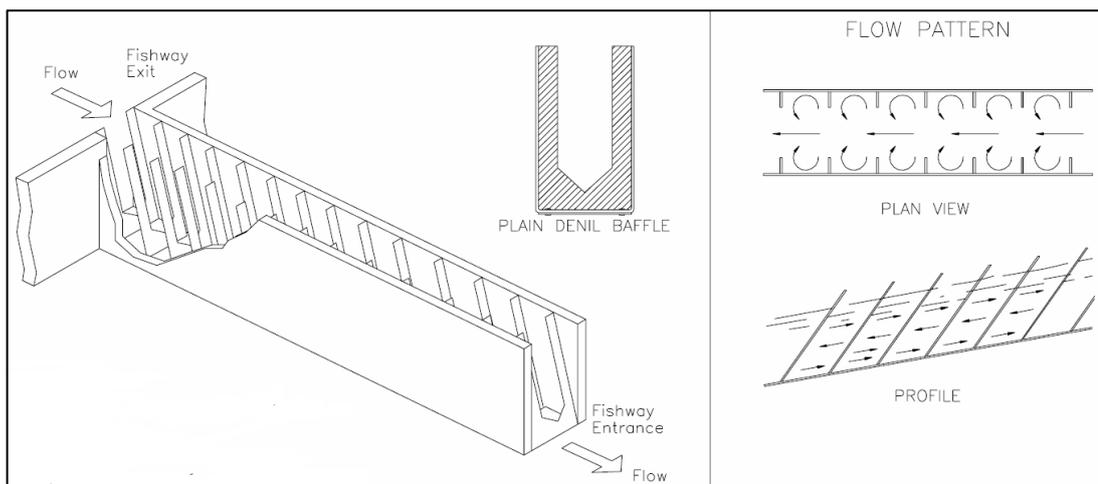


Fig.7-35: Vista assonometrica, sezioni trasversale, longitudinale e planimetria con schema di funzionamento di un passaggio Denil Standard (da www.cefn.s.nau.edu).

Questo meccanismo consente di aumentare la pendenza dei passaggi mantenendo velocità ammissibili per i pesci nella parte inferiore della sezione liquida definita dai deflettori (si veda successiva Fig.7-36); inoltre risulta essere una soluzione completamente prefabbricabile in condizione asciutte e di facile installazione il che la rende perfetta per ittiocompatibilizzare vecchi sbarramenti in cui lo spazio a disposizione è ridotto.

Un ulteriore vantaggio consiste nella buona attrattività della corrente all'uscita dal canale cioè dopo aver superato l'ultimo deflettore.

Ovviamente affinché tutto funzioni questi passaggi necessitano di una regolare ed attenta manutenzione che a volte è sufficiente a giustificare anche la realizzazione di opere di regolazione dedite alla chiusura del passaggio per facilitare le operazioni.

Il passaggio originariamente progettato da Denil prevedeva deflettori di sagoma concava; successivi studi hanno poi perfezionato il prototipo passando ad una sagomatura "a U" che risultava, e risulta, essendo quasi tutti i passaggi a deflettori di questo tipo, più funzionale e che è stata assunta come *Denil standard* (Fig.7-36).

Come si nota dalla figura appena citata, il classico passaggio Denil prevede la realizzazione del canale in calcestruzzo e con deflettori, preferibilmente in legno, inclinati di 45° rispetto al canale.

Per quanto detto, lo sviluppo planimetrico di questi passaggi deve essere necessariamente rettilineo poiché eventuali curvature e/o pieghe ne comprometterebbero il meccanismo di base; questo comporta che, non essendovi possibilità di riposo tra i deflettori, la risalita del pesce sia continua, ovvero senza mai fermarsi, il che rende queste scale adatte solo ai pesci con buone capacità natatorie.

Tuttavia, qualora fosse necessario svolgere un cambio di direzione o qualora la lunghezza fosse eccessiva per la specie target, è possibile realizzare il passaggio Denil "a tratti" (Fig.7-37) introducendo delle piscine di riposo, ad esempio ogni 6÷8 m per i ciprinidi o 10 ÷ 12 m per i salmonidi, aventi E circa 25÷50 W/m³ e che inoltre risultano l'unica porzione del manufatto sulla quale è possibile usare materiali naturali.

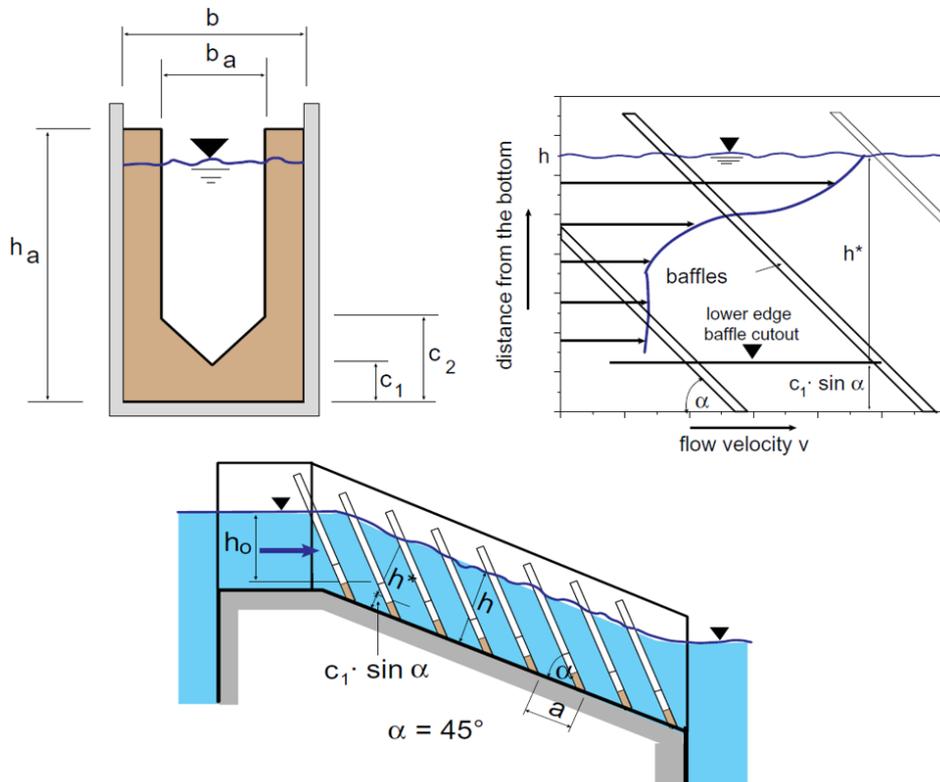


Fig.7-36: Sezioni trasversale e longitudinale ed andamento qualitativo delle velocità su di essa in un passaggio Denil Standard – terminologia originale di G. Denil (modificata da FAO/DVWK, 2002).

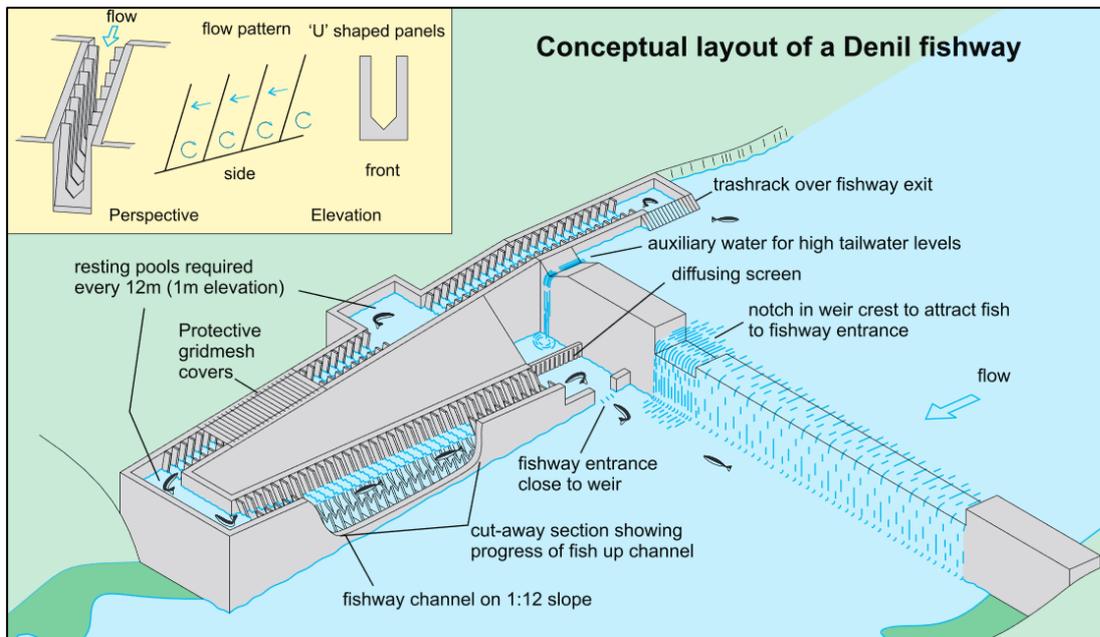


Fig.7-37: Schema concettuale di un passaggio Denil a tratti con bacini di riposo (da Thorncraft e Harris, 2000).

Il dimensionamento idraulico, ancor più che negli altri passaggi tecnici, vista la possibilità di prefabbricazione e sperimentazione in laboratorio, viene svolto sfruttando risultati empirici la cui applicabilità è fortemente legata alla forma dei deflettori.

Per quanto riguarda pendenza e larghezza del canale, in funzione della specie target, si può fare riferimento alla tabella (Tab.7.5.2.3-I) mentre per la disposizione e geometria dei deflettori si può fare riferimento alla successiva (Tab.7.5.2.3-II); come già accennato è sottointesa l'inclinazione a 45° dei deflettori.

Tab.7.5.2.3-I: Valori di larghezza e pendenza consigliati per il canale di un passaggio Denil in funzione della specie target (Larinier, 1983).

Fish fauna to be considered	Channel width b in m	Recommended slopes I		Water discharge ¹⁾ Q in m ³ /s for h*/b _a = 1.5
		as %	1 : n	
Brown trout, Cyprinids and others	0.6	20.0	1 : 5	0.26
	0.7	17.0	1 : 5.88	0.35
	0.8	15.0	1 : 6.67	0.46
	0.9	13.5	1 : 7.4	0.58
Salmon, Sea trout and Huchen	0.8	20.0	1 : 5	0.53
	0.9	17.5	1 : 5.7	0.66
	1.0	16.0	1 : 6.25	0.82
	1.2	13.0	1 : 7.7	1.17

Note: ¹⁾ Calculated according to Equation (5.10) with the recommended dimensions of the cross-walls according to Table 5.5

Tab.7.5.2.3-II: Disposizione e geometria dei deflettori di un passaggio Denil Standard in funzione della larghezza del canale (FAO/DVWK, 2002).

		Tolerance range	Recommended guide values
Baffle width	b _a /b	0.5 – 0.6	0.58
Baffle spacing	a/b	0.5 – 0.9	0.66
Distance between the lowest point of the cutout and the bottom	c ₁ /b	0.23 – 0.32	0.25
Depth of the triangular section	c ₂ /c ₁	2	2

L'equazione del moto ricavata sperimentalmente su passaggi Denil standard la cui geometria è stata dimensionata con le tabelle precedenti, quindi valida solo per quei casi, è quella di Kruger (1994):

$$Q = 1.35 \cdot b_a^{2.5} \sqrt{g} \cdot i \cdot \left(\frac{h^*}{b_a}\right)^{1.584}$$

Per i simboli utilizzati si rimanda a figura (Fig.7-30); inoltre si sottolinea che la profondità h* può essere stimata in funzione della h₀ da cui dipende, insieme alle perdite in entrata, attraverso l'abaco in figura seguente (Fig.7-38).

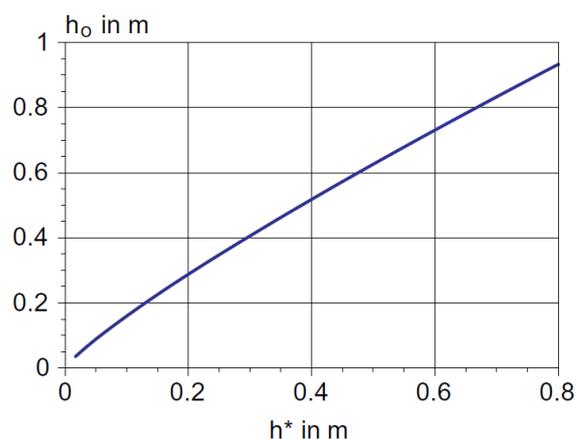


Fig.7-38: Abaco di Lonnebjerg (1980) per il calcolo di h^* (da FAO/DVWK, 2002).

La valutazione di questa grandezza è importante in quanto, affinché si abbia il diagramma di velocità di Fig.7-36 e quindi un corretto funzionamento del passaggio, è bene che vengano rispettati i seguenti limiti:

$$\begin{cases} h^* \geq 0.35 \quad \forall Q \\ \frac{h^*}{b_a} \leq 1.5 \div 1.8 \quad \text{per } Q_{max} \end{cases}$$

L'esperienza che deriva dall'utilizzo di queste relazioni ha evidenziato i limiti principali di questi passaggi ovvero la forte suscettibilità alle variazioni nei livelli di monte in quanto sono consentite escursioni di soli 20 cm ed anche la necessità di portate relativamente elevate rispetto ad altri tipi di passaggio (GRAIA, 2011).

Per completezza si riporta anche la relazione di vincolo della potenza dissipata negli eventuali bacini che in fase di progetto può essere utilizzata per il loro dimensionamento:

$$E = \frac{\rho Q^3}{2b_m \cdot h_m \cdot l_b \cdot (h^* b_a)^2} < 25 \div 50 \frac{W}{m^3}$$

Dove b_m ed h_m sono la larghezza ed altezza media del bacino.

7.5.3. Passaggi Speciali.

Si dicono passaggi speciali quelle opere che permettono il passaggio dei pesci senza effettivamente ricostituire la continuità fluviale; con questa soluzione i pesci vengono semplicemente spostati passivamente oppure attivamente ma il fiume continua a rimanere sostanzialmente interrotto (Camoglio et al., 2006).

Per questa ragione nella letteratura, sebbene nell'insieme dei passaggi tecnici, sono spesso classificate in modo indipendente come *special construction* (piuttosto che *passes*).

Sono ritenute costruzioni speciali per il passaggio dei pesci le seguenti opere:

- passaggi per anguille (*eel ladders*);
- chiuse per pesci (*fish locks*);
- ascensori per pesci (*fish lifts*).

L'utilizzo di queste soluzioni è assai ridotto rispetto a quelle precedentemente illustrate ed in ogni caso sono molteplici i dubbi espressi sulla loro effettiva validità tecnica e convenienza economica; inoltre per lo sviluppo della tesi non saranno sicuramente necessari passaggi per anguille.

Per questi motivi le descrizioni seguenti saranno molto più sintetiche rispetto alle precedenti tipologie mentre si decide di tralasciare completamente le *eel ladders*.

7.5.3.1. Chiuse per pesci (*fish locks*).

Le chiuse per pesci (*fish locks*) sono costruzioni speciali il cui funzionamento si basa sullo stesso principio di una chiusa per la navigazione ossia un apparato idraulico che permette la navigazione tra due corpi idrici che di per sé sarebbe un ostacolo alla migrazione dei pesci ed il cui utilizzo eco-idraulico è stato per la prima volta proposto dall'ingegnere irlandese Borland nel 1949.

Tale costruzione è fondamentalmente composta da (Fig.7-39):

- una camera a monte dello sbarramento, situata poco al di sotto del livello dell'acqua del fiume in modo tale che si possa sempre riempire senza dispendio di energia;
- una camera a valle dello sbarramento, di grandi dimensioni solitamente maggiori rispetto a quelle della camera di monte;
- un condotto inclinato che unisce le due camere, ossia la chiusa propriamente detta;
- paratoie automatizzate sulle sezioni che collegano le camere al corso d'acqua.

Oltre a questi componenti indispensabili possono essere previsti molti altri elementi "accessori", volti soprattutto a favorire il monitoraggio e la manutenzione del passaggio, quali ad esempio:

- finestre di osservazione;
- attrezzature per il conteggio;
- bypass per la corrente di attrazione;
- "trappola per pesci" ovvero una griglia metallica posta all'entrata della camera di monte che ne evita il rientro nella chiusa.

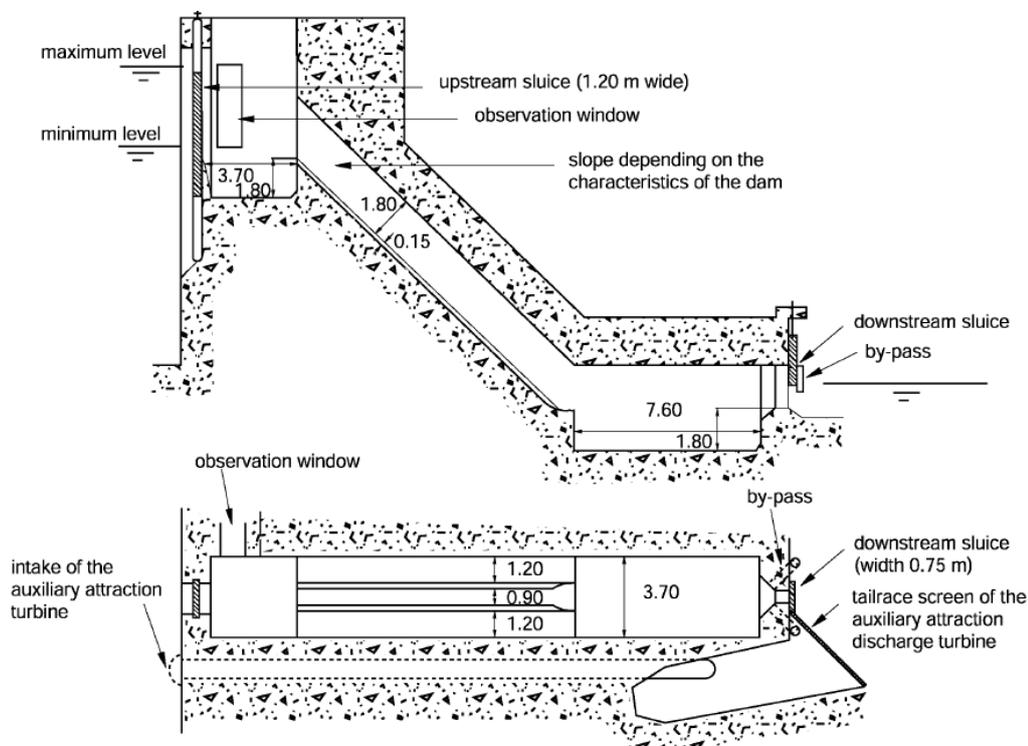


Fig.7-39: Planimetria e sezione di una chiusa per pesci (da Larinier, 2002).

In figura precedente è stata riportata lo schema di una chiusa completamente coperta, tuttavia è preferibile la realizzazione a camere aperte per favorire l'ispezione (FAO/DVWK, 2002); inoltre, per dislivelli inferiori a 4 ÷ 5 m, è possibile (Larinier, 2002) l'utilizzo anche di chiuse aperte

Quindi periodicamente le porte vengono aperte e chiuse in modo da far variare il livello all'interno della chiusa e permettendo il passaggio dei pesci dalla camera di valle a quella di monte; più precisamente la procedura è la seguente (Fig.7-40):

- *Fase di attrazione*: la porta di valle è completamente aperta mentre aprendo lievemente quella di monte si rilascia una corrente molto attrattiva a valle che spinge i pesci ad entrare nella chiusa;
- *Fase di riempimento*: una volta che i pesci sono entrati si serra la porta di valle mentre si lascia aperta quella di monte, possibilmente con la stessa apertura della prima fase, permettendo il progressivo riempimento del canale e quindi la risalita dei pesci;
- *Fase di uscita dei pesci*: mentre i pesci escono si comincia ad aprire la porta di valle per evitare il prosciugamento del ramo di valle;
- *Fase di svuotamento*: una volta che sono usciti tutti i pesci si chiude la porta di monte e si apre completamente quella di valle per svuotare la chiusa.

Generalmente il compimento di un ciclo intero può avvenire in 1 ÷ 4 ore.

In base al funzionamento appena descritto, che sostanzialmente prevede il non necessariamente rapido riempimento di una condotta, è evidente che questa costruzione è vantaggiosa in presenza di dislivelli elevati, spazi ridotti e portate esigue ma, allo stesso tempo, la rende svantaggiosa per invertebrati e pesci che abitano il fondale.

Inoltre è necessario affermare che, anche con un progetto perfettamente funzionante, una chiusa non è mai sostitutiva di un vero passaggio per pesci in quanto produce un ristabilimento intermittente della continuità fluviale ed ipotizza un comportamento molto intuitivo da parte dei pesci sia per quanto riguarda l'accesso alla chiusa, minato dal tempo di apertura limitato ed il posizionamento, sia per la volontà di risalirla che può essere minata dagli elevati livelli di turbolenza che si generano nella chiusa durante il riempimento.

Tale problema, come detto ad inizio capitolo è fonte delle maggiori critiche su tutti i passaggi e viene spesso arginato con il posizionamento di trappole nella chiusa, con sistemi di trasporto lungo essa che li rende sostanzialmente simile ad un ascensore per pesci e con flussi ausiliari; tuttavia è tale da rendere spesso discutibile l'adozione di questa soluzione e il raggiungimento di un'efficienza massima.

Ovviamente la condotta della chiusa deve rispettare gli stessi limiti di velocità e pendenza imposti alle altre tipologie di passaggi tecnici, in maniera più precisa:

- le camere devono avere dimensioni superiori rispetto a quelle dei bacini di riposo dei passaggi tecnici, vista la possibile permanenza di un numero maggiore di pesci;
- la corrente di attrazione dovrebbe avere velocità compresa tra 0.9 e 2 m/s e mediamente 1,2 m/s;
- in qualunque fase di carico/scarico ed in qualunque sezione le velocità di flusso medie non devono superare 1,5 m/s ed il livello dell'acqua non deve variare più rapidamente dei 2,5 m/min;
- oltre all'automatizzazione delle porte questa va associata sistemi di monitoraggio per ottimizzarne l'apertura/chiusura in relazione al quantitativo di pesce che entra/esce.

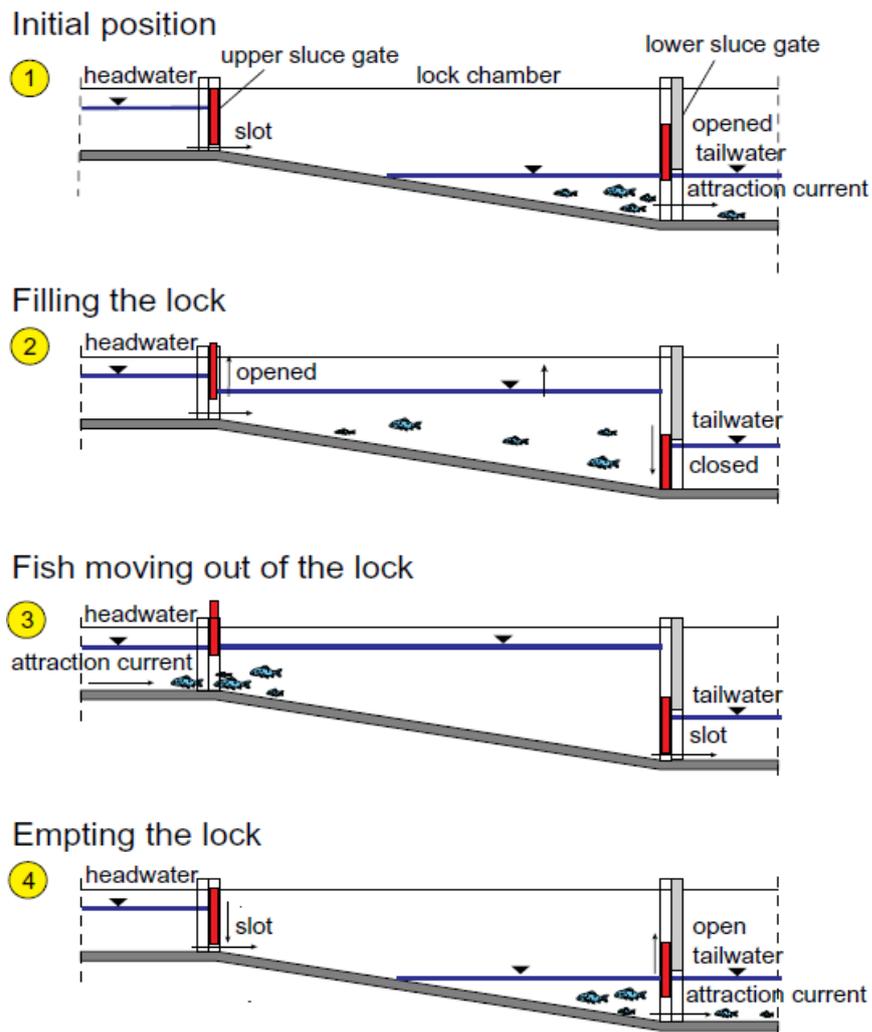


Fig.7-40: Fasi di funzionamento di una chiusa per pesci (da FAO/DVWK, 2002).

7.5.3.2. Ascensori per pesci (*fish lifts*).

Gli ascensori per pesci (*fish lift*) sono una costruzione con la quale i pesci vengono trasportati oltre l'ostacolo; questa soluzione viene utilizzata in quando l'altezza dell'ostacolo (6 ÷ 10 m) e la scarsità d'acqua rendono impossibile il completo ripristino della continuità fluviale con altri passaggi per mancanza di spazio, costi eccessivi e/o caratteristiche natatorie e psicologiche dei pesci non adeguate. Con riferimento allo schema riportato in figura seguente (Fig.7-41) si nota che l'ascensore per pesci è essenzialmente un trogolo mobilizzabile, mediante un cavo di acciaio collegato ad un motore, lungo un vano verticale; la forma del trogolo (tipo imbuto) è tale da impedire la fuga del pesce a valle e di consentirgli invece l'uscita a monte che talvolta viene anche agevolata ribaltando meccanicamente la vasca.

Analogamente agli ascensori il vano è dotato di paratoie automatizzate ai due livelli, cioè a monte e valle dell'ostacolo, che consentono/impediscono l'entrata/uscita dei pesci in esso a seconda della posizione della vasca.

L'attrattività della corrente a valle che, a causa della scarsità d'acqua potrebbe essere bassa all'uscita inferiore del vano, può essere aumentata attraverso un canale by-pass a piccola sezione; inoltre altri sistemi di griglie mobili possono contribuire a spingere il pesce nell'ascensore.

Ovviamente, ancor di più che nelle chiusa, l'efficacia degli ascensori risente del fatto che questi non producono un reale ripristino della continuità; inoltre necessitano di forte manutenzione, sono inadatti alla tutela degli invertebrati ed impediscono migrazioni verso valle.

Pertanto l'utilizzo di questa soluzione è consigliabile solo nei contesti descritti ad inizio paragrafo, in presenza di pesci molto pesanti, con scarse capacità natatorie oppure in maniera combinata con altre tipologie di passaggi tecnici consentendo di ridurre lo sviluppo longitudinale.

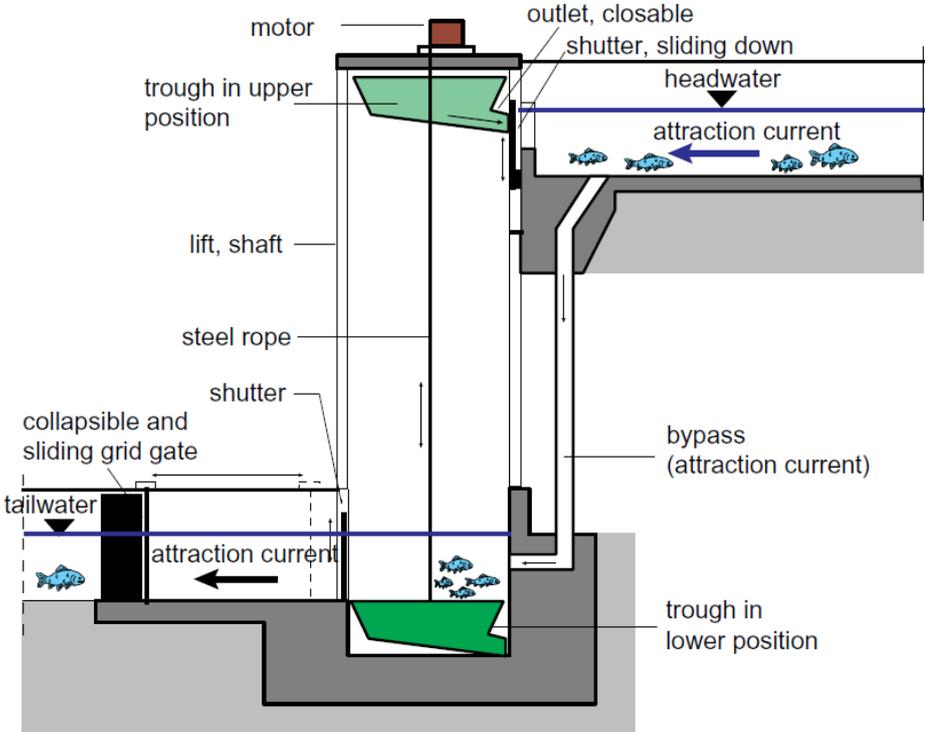


Fig.7-41: Sezione schematica di un ascensore per pesci (da FAO/DVWK, 2002).

8. IL PROGETTO DI SOSTENIBILITÀ ECOLOGICA.

8.1. Considerazioni introduttive.

Nel presente capitolo si discute il progetto di sostenibilità ecologica del bacino idrografico del torrente Slizza attraverso proposte di ittiocompatibilizzazione degli sbarramenti di derivazione e/o di difesa individuati nei capitoli precedenti, attraverso il progetto di passaggi per pesci.

L'obiettivo è quello di progettare dei manufatti, scelti tra le cui soluzioni tecniche descritte nel capitolo 7, in modo che questi svolgano la loro funzione di corridoi ecologici che, assieme al rilascio delle portate di DMV viste nel capitolo 6, garantiscano l'essere del continuum fluviale.

Rispetto alla situazione attuale lo sviluppo di tale progetto permette quindi di ripristinare, espandere e conservare l'habitat della specie target in esame.

Brevemente si ricorda che la selezione delle sezioni di calcolo necessitanti l'intervento è stata svolta "intersecando" i seguenti aspetti:

- altezza dello sbarramento;
- ittiocompatibilità dello sbarramento ovvero la dotazione di passaggio per pesci;
- presenza di derivazione a monte dello sbarramento e, in caso affermativo, lunghezza del tratto da essa sotteso;
- importanza dell'asta: con questo termine generico si intende la sua dimensione, il suo ordine e la sua appartenenza ad aree di particolare interesse naturalistico o di pesca sportiva;
- presenza della specie target nell'asta da dimostrare mediante campionamento ittico;
- disponibilità dell'habitat riproduttivo della specie target nell'asta in esame in quanto, in caso affermativo, la rende oggetto di migrazioni riproduttive che, come si vedrà in seguito, risultano quelle di maggior interesse per la tutela della fauna ittica.

È importante sottolineare nuovamente che, anche nei paesi maggiormente avanzati e impegnati in queste tematiche come ad esempio i paesi anglosassoni in cui l'ittiocompatibilizzazione è obbligatoria in qualunque sbarramento, tale processo potrebbe essere utile per individuare la priorità di intervento.

Ovviamente, non essendovi in Italia tale obbligo, la mancanza di passaggi in questi sbarramenti è sicuramente frutto di valutazioni precedenti che hanno giudicato la soluzione non fattibile quali ad esempio valutazioni tecniche e/o di costi/benefici.

Tuttavia nel presente lavoro di tesi, nell'ottica futura di un completo ripristino della continuità fluviale nell'intero bacino, non sono state escluse sezioni dall'intervento e, dall'intersezione dei criteri precedenti (si vedano capitoli 5 e 6) sono state individuate come prioritarie le sezioni riportate in figura (Fig.8-1).

In figura si ritrovano gli sbarramenti delle tre sezioni già introdotte nel capitolo 6 per le quali è stato già svolto il calcolo del DMV: ossia le due briglie praticamente identiche relative alle prese sul torrente Slizza 493 e 495 e la traversa della derivazione 921 sul rio Bianco.

Alla luce degli aspetti precedentemente elencati, si è giudicato necessario l'intervento in quanto:

- le altezze, abbinate alla tipologia degli sbarramenti sempre chiusi, sono in tutti i casi tali da renderli non superabili da parte della specie target essendo ovviamente prive di passaggi dedicati.
In particolare, sul torrente Slizza, dimensioni e vicinanza degli sbarramenti, rendono particolarmente complessa la problematica;
- tutti gli sbarramenti fanno parte anche di opere di derivazione ad uso idroelettrico. In particolare esse sono puntuali sul torrente Slizza e con importante tratto sotteso sul rio Bianco;
- tutti gli sbarramenti insistono su aste principali del reticolo idrografico che forniscono l'habitat di frega per fini riproduttivi della specie target. Più in generale il rio Bianco risulta anche parzialmente appartenente all'area protetta della conca di fusine.
- i due sbarramenti sul torrente Slizza corrispondenti alle derivazioni puntuali 493 e 495, per dimensioni e vicinanza reciproca, producono indubbiamente un ostacolo insuperabile per la fauna ittica che intende percorrere l'asta verso monte il che produce una divisione netta delle aree riproduttive e l'impedimento di un rinnovo genetico tra le popolazioni poste a cavallo di essa. Infatti i campionamenti ittici stessi (si veda figura Fig.5-17) avevano dimostrato la forte corrispondenza tra la posizione delle briglie e le forti discontinuità nella distribuzione della fauna ittica lungo il torrente; ovviamente risultava evidente che tutto ciò non fosse

esclusivamente imputabile alle briglie sulle prese 495 e 497 ma tuttavia, per quanto detto in precedenza queste risultano sicuramente prioritarie riguardo all'intervento rispetto agli altri sbarramenti;

- lo sbarramento sul rio Bianco corrispondente alla derivazione precedentemente identificata come 921, al contrario dei precedenti, è di dimensioni modeste, ma insiste in un'area di elevato interesse naturalistico nella quale la continuità delle altre aste è stata oggetto di recenti ripristini e sorge a monte di un lungo tratto sotteso nel quale quindi il rapporto tra il manufatto ed il rilascio del DMV è fondamentale.

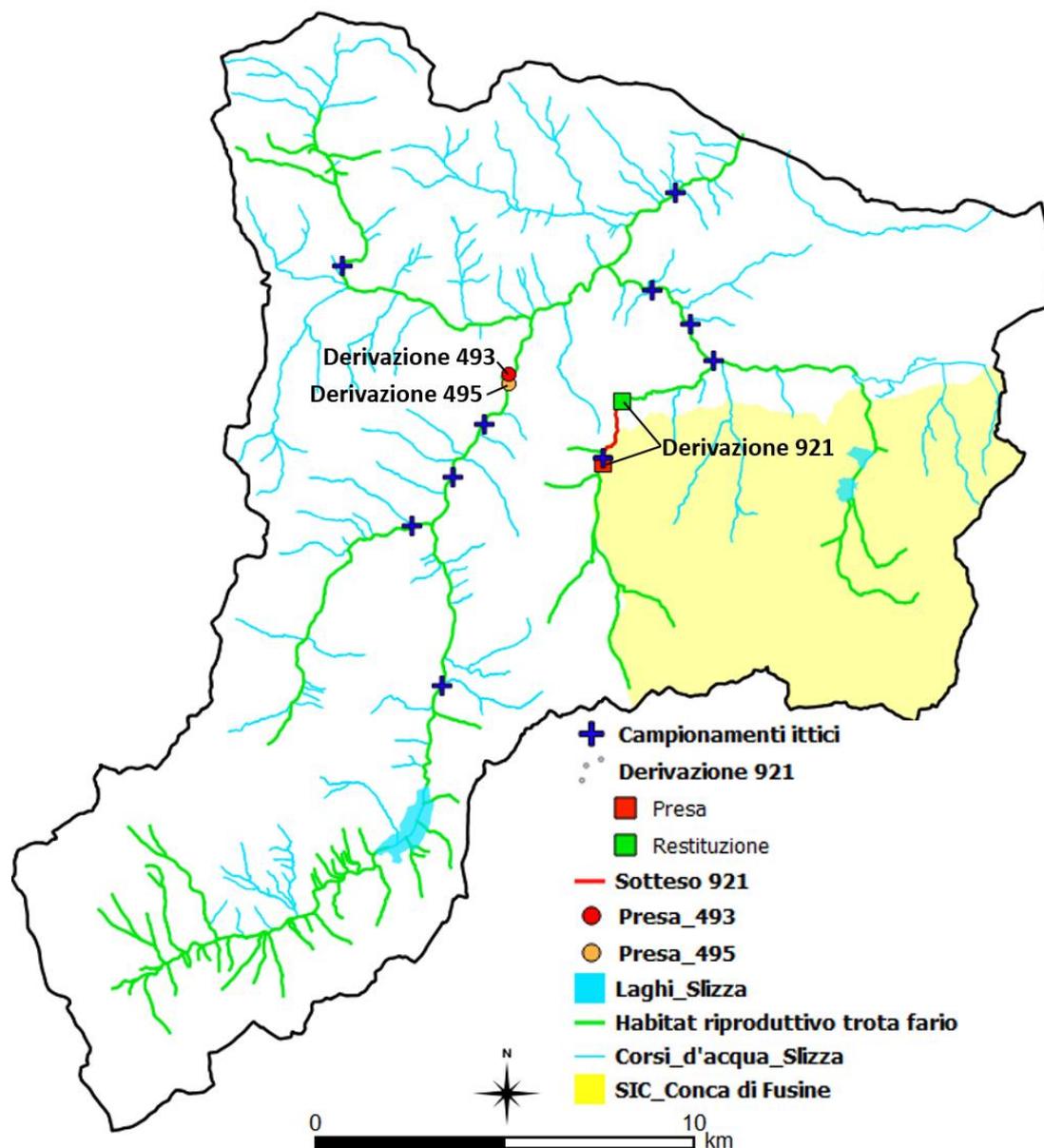


Fig.8-1: Sezioni selezionate per interventi di ripristino nel bacino idrografico del torrente dello Slizza.

Nei paragrafi successivi verranno sviluppati i diversi aspetti del progetto così come illustrato nel precedente capitolo dell'elaborato; in particolare si precisa che non ne sarà dedicato uno apposito all'inquadramento geografico dell'intervento in quanto questo si può considerare già sufficientemente discusso nei capitoli precedenti (si vedano paragrafi 3.3 e 6.5.1).

8.2. Aspetti biologici del progetto.

Alla luce di quanto visto nei precedenti capitoli (in particolare 5 e 7), si definiscono in questo paragrafo i vari aspetti di tipo biologico che verranno considerati per una successiva corretta progettazione dei passaggi.

Si riassumono di seguito le assunzioni fondamentali:

- alla luce di quanto visto al capitolo 5 dell'elaborato si assume come specie target del progetto *salmo [trutta] trutta* ovvero la trota fario di ceppo danubiano;
- come visto sempre al capitolo 5 le dimensioni della trota fario variano molto in funzione della sua classe d'età e quindi il passaggio deve essere dimensionato in modo da non compromettere l'equilibrio degli habitat dei suoi vari stadi vitali (Navarro et al., 1994); questo solitamente significa che il dimensionamento viene svolto sulla base dello stadio vitale più debole (FAO/DVWK, 2002).
Tutto ciò, assumendo come trascurabili gli spostamenti verso monte per motivi non riproduttivi, porta a selezionare le trote di due anni, essendo l'età minima per la maturità sessuale, per un dimensionamento cautelativo;
- la trota fario è una specie dotata di elevata eterogeneità e quindi non è detto che, fissata una classe d'età, le stesse dimensioni già mediate sul numero di esemplari campionati possano essere adottate in tutte le aste. Tuttavia, dall'elaborazione dei dati ittici (si veda Fig.5-16) è possibile assumere l'ipotesi di omogeneità dimensionale dei pesci nel bacino e quindi fare riferimento senza grandi errori al valor medio oppure, per ulteriore cautela, si può considerare sempre senza grandi differenze di spesa la lunghezza minore rilevata nel bacino;
- ricordando quanto visto al paragrafo 5.3.1.2 (si veda in particolare figura Fig.5-31), il comportamento vagile della trota fario si manifesta durante tutto l'anno; tuttavia i passaggi sono volti a garantire le migrazioni verso monte che sono prevalentemente dovute a motivi riproduttivi. Queste si svolgono tra ottobre ÷ marzo e prevalentemente tra novembre ÷ gennaio; in maniera cautelativa, escludendo solo le mensilità estreme si considera per il periodo migratorio della trota fario l'estensione novembre ÷ febbraio.
Naturalmente questo diviene il periodo di interesse principale ma il passaggio per pesci deve garantire la sua funzionalità durante tutto l'anno; tuttavia, per quanto visto nel capitolo 4 (in particolare si veda paragrafo 4.2.2) i mesi selezionati sono quelli che evidenziano le minori portate e quindi risulta anche cautelativo ragionare su di essi in fase di progetto;
- la profondità in cui vive la trota fario non è fissa ma dettata da temperatura e nutrimento e pertanto si assume che la specie sia capace di percorrere anche passaggi con tiranti elevati che è una condizione realizzata ad esempio nei *fish locks*;

Sulla base di queste ipotesi, i passaggi che verranno progettati devono essere tali da consentire, in particolare tra novembre e febbraio, la risalita attraverso gli sbarramenti di un'esemplare di trota fario di lunghezza media 17.5 cm e comunque localmente mai inferiore a 16 cm.

Ulteriori ed importanti assunzioni sono quelle riguardanti la portata di DMV che, come visto nel paragrafo 6.4.3, in motivate situazioni, può differire da quella calcolata rigorosamente; tuttavia al fine di non creare confusione le osservazioni su tali concetti verranno analizzate separatamente nei paragrafi successivi.

Definita la specie target si ricorda che in generale la trota fario è descritto come un pesce dalle ottime capacità natatorie; tuttavia noto "l'esemplare dimensionante" è necessario definire le sue caratteristiche ittio-meccaniche.

Rifacendosi all'abaco in figura Fig.7-2 si ricavano i seguenti range di velocità per le diverse attività muscolari (indicate attraverso la loro iniziale come apice) della trota fario:

$$\begin{cases} V^C \leq 2.5 \text{ ft/s} = 0.8 \text{ m/s} \\ V^B \cong (2.5 \div 6) \text{ ft/s} = (0.8 \div 1.8) \text{ m/s} \\ V^S \cong (6 \div 13.6) \text{ ft/s} = (1.8 \div 4.2) \text{ m/s} \end{cases}$$

Suddetti intervalli sono forniti a prescindere dalla morfologia del pesce; pertanto un calcolo più specifico, relativo ai massimi di velocità, può essere svolto usando di attraverso le formule di Videler: assumendo una lunghezza cautelativa di 16 cm per la quale le formule sono valide essendo inferiore a 50 cm:

$$\begin{cases} V_{max} = 0.4 + 7.4 \cdot L = 0.5 \frac{m}{s} \\ V_{max}^C = 2.3 \cdot L^{0.8} = 0.53 \frac{m}{s} \end{cases}$$

Si nota che le formule portano a valori della velocità di crociera molto coerenti con l'intervallo precedentemente riportato in quanto, nel rispetto delle dimensioni del pesce, conservano un certo margine rispetto all'estremo superiore.

Questo risultato è molto importante in quanto dimostra che vi è una buona corrispondenza tra i valori stimati con l'abaco, quindi indipendenti dalla lunghezza, e quelli specifici per l'esemplare target dipendenti dalla lunghezza; per cui è ragionevole estendere questa condizione anche alle altre attività muscolari e considerare gli intervalli di V^B e V^S delle buone stime anche per l'esemplare dimensionante che per avere la stessa condizione vista in crociera dovrebbe avere valori circa intermedi.

Adottando l'intervallo di temperature $5^\circ \div 10^\circ$, ottimali per il periodo riproduttivo, sfruttando gli abachi riportati nel paragrafo 7.2.2 è possibile determinare:

- l'abaco in figura (Fig.7-4) restituisce valori di velocità massima di un salmonide di 16 cm:

$$V_{max} = 1.2 \div 1.7 \text{ m/s.}$$

Si ricorda che l'abaco fa riferimento in modo molto generico ai salmonidi e ad una velocità massima senza specificarne l'attività muscolare associata tuttavia si nota una buona corrispondenza con i valori massimi in attività di spunto ricavati in precedenza.

Essendo i valori desunti da Fig.7-2 specifici per la trota fario ed avendone testato la bontà attraverso Videler, si considerano maggiormente affidabili le stime precedenti mediante le quali si svolgeranno le letture negli altri abachi;

- da abaco riportato in figura (Fig.7-5) è possibile valutare la resistenza di un generico salmonide a velocità massima. Nel caso in esame si ottiene: $t_{en} = 3.1 \div 8 \text{ s}$.
È importante sottolineare che, come nell'abaco precedente, non viene specificata l'attività muscolare e pertanto si presume che tali valori abbiano senso assoluto e quindi siano riferiti all'attività sostenuta.
- l'abaco in figura (Fig.7-3) è sostanzialmente una fusione dei due precedenti e pertanto, mantenendo l'intervallo di temperatura e la lunghezza si ottengono gli stessi valori di velocità massima e resistenza;

Come si nota i valori di velocità di crociera ottenuti risultano molto inferiori ($1/4 \div 1/3$) di quelli limite dei passaggi come ad esempio quelli raccomandati per le varie tipologie di passaggi tecnici per la risalita della trota fario di Tab.7.2.4-I che sono invece comparabili con quelli di attività sostenuta.

Questo indica che le dimensioni dell'esemplare target scelto non sono assurde ossia la sua risalita non contrasta con le soluzioni di uso comune e in fase di progettazione si porrà particolare attenzione al controllo della velocità attraverso il passaggio riducendo al minimo i tratti a velocità limite e fornendo adeguate zone di riposo in cui viene richiesta al più la velocità di crociera.

Infine, pur non conoscendo la dimensione della pinna caudale della specie target, considerando una lunghezza massima di 35 cm, si considerano soddisfacenti, cioè superiori a 2.5 volte la pinna, i valori limite di tirante introdotti al capitolo precedente che indicavano un minimo di $20 \div 30 \text{ cm}$.

8.3. Calcolo della portata di progetto dei passaggi per pesci.

Si ricorda che le metodologie di calcolo della portata di progetto Q_d che nel paragrafo 7.5.1.4. è stata chiamata anche portata di servizio sono state illustrate nel paragrafo 7.3 del precedente capitolo.

Si osserva subito che, come spesso accade per le variabili idrauliche, per il calcolo di questa grandezza viene lasciata molta libertà al progettista; infatti i vincoli normativi (se) presenti sono di valenza regionale e raramente consentono una valutazione univoca della portata per la quale si fa molto affidamento sulle esperienze precedenti.

Non fa eccezione la regione Friuli Venezia Giulia dove, coerentemente con la tendenza nazionale, la portata di servizio viene solitamente stimata come quota-parte della portata di DMV o della portata media nel periodo migratorio.

Per le sezioni in esame, che si ricorda sono tutte relative ad opere di derivazione, vista l'assenza di riferimenti precisi ed i dati a disposizione, si decide di svolgere più calcoli della Q_d al fine poi di selezionare il valore più cautelativo/attendibile; verranno quindi utilizzate le seguenti stime in parte già descritte al paragrafo 7.3:

- portata di progetto pari ad 1% ÷ 5% della portata media durante il periodo migratorio Q_m ;
- portata di progetto stimata in funzione della Q_{DMV} secondo la D.G.P. n. 746-151363 del 18 luglio 2000 della Provincia di Torino;
- portata di progetto pari alla la portata che fluente nel passaggio che provoca un ritardo di 3 giorni nella risalita, grandezza da ora indicata come Q_{3d} , con un tempo di ritorno di 10 anni (Katopodis, 1992);

Si ricorda nuovamente che, come sottolineato dalla regione Piemonte, di norma il range di queste portate va da 40 ÷ 50 l/s a 1000 ÷ 1500 l/s; valori superiori o inferiori sono assai insoliti per il progetto dei passaggi.

Essendo già noti dal capitolo 6 (si veda 6.5.4) i valori di DMV per le sezioni in esame che derivano dall'utilizzo del metodo proposto dal PRTA con calcolo della portata media sulla base di 36 anni di osservazioni trasportate da Thörl per similitudine idrologica in rapporto alle aree, è possibile calcolare immediatamente la portata di servizio, utilizzando il secondo metodo come segue:

$$\begin{cases} Q_d > 600 + 0.9 \cdot (Q_{DMV} - 600)^{0.8} \left[\frac{l}{s} \right] & \text{se } Q_{DMV} > 600 \frac{l}{s} \\ Q_d = Q_{DMV} & \text{se } Q_{DMV} < 600 \frac{l}{s} \\ Q_d > 50 \frac{l}{s} & \text{in ogni caso} \end{cases}$$

Si riassumono i risultati in tabella seguente (Tab.8.3-I):

Tab.8.3-I: Risultati del calcolo della portata di progetto dei passaggi per pesci secondo D.G.P. n. 746-151363 del 18 luglio 2000 della provincia di Torino.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	Q_{DMV} [l/s]	Q_d [l/s]	Q_d/Q_{DMV} [%]
493	T. Slizza	877.44	681.06	77.7
495	T. Slizza	875.49	680.60	77.6
921	R. Bianco	73.54	73.54	100

Per svolgere i calcoli con le altre metodologie è anzitutto necessario conoscere l'andamento cronologico delle portate durante il periodo migratorio della specie target; per quanto ipotizzato ad inizio capitolo si considera per il periodo migratorio della trota fario l'estensione novembre ÷ febbraio.

Applicando il solito criterio di similitudine idrologica in rapporto alle aree è possibile trasportare da Thörl su ciascuna sezione gli andamenti cronologici delle portate medie giornaliere nei periodi migratori delle stagioni 1975 ÷ 2010.

Di seguito si riporta la suddetta serie cronologica relativa alla presa 493 (Fig.8-2) e si ricorda che, essendo il criterio basato su una diretta proporzionalità, le osservazioni su di essa risultano valide su tutte le altre sezioni. Si nota che:

- o l'andamento delle portate nel solo periodo migratorio non evidenzia alcun comportamento tendenziale nel corso dei 36 anni e pertanto la stima della media sull'intero periodo di osservazione risulta un dato che descrive bene anche gli anni più recenti;
- o in un cospicuo numero di anni di osservazione si sono verificati, nel periodo migratorio, degli eventi di piena i cui picchi si scostano notevolmente dal valor medio; da un rapido controllo della serie e da un confronto con le serie cronologiche delle portate medie mensili (si veda

Fig.4-25) si nota che questi derivano prevalentemente dalla presenza del mese autunnale di novembre in cui i valori medi e massimi di portata sono più elevati.

La presenza di tali picchi, come dimostra la prima osservazione, non disturbano la stima del valore medio; tuttavia, si vedrà in seguito che, essendo la loro ampiezza spesso uguale o superiore ai 3 giorni, porteranno a valori elevatissimi di Q_d mediante il metodo proposto da Katopodis;

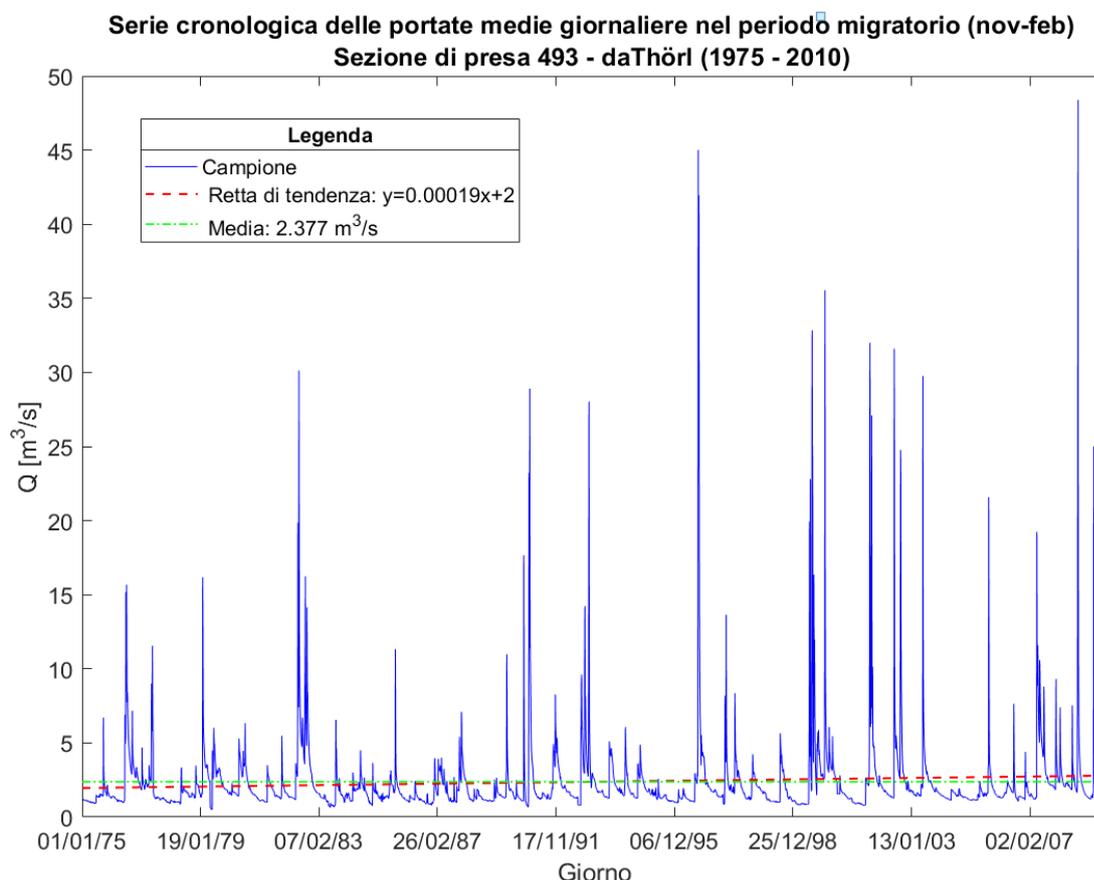


Fig.8-2: Andamento cronologico delle portate medie giornaliere durante i periodi migratori (novembre – febbraio) delle stagioni 1975-2010 nella sezione di presa 493 (per similitudine idrologica da Thörl).

Stimato il valor medio della portata nel periodo migratorio è immediata la valutazione dell'intervallo di variabilità della Q_d proposti dalla regione Toscana; si riassumono i valori in tabella (Tab.8.3-II).

Si nota subito che gli intervalli definiti coinvolgono valori di portata abbondantemente inferiori a quelli stimati col metodo precedente.

Tab.8.3-II: Intervalli di variabilità della portata di progetto dei passaggi per pesci (in funzione della portata media nel periodo migratorio) consigliati dalla regione Toscana.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	Q_m [l/s]	Q_d [l/s]
493	T. Slizza	2377	23.77 ÷ 118.85
495	T. Slizza	2372	23.72 ÷ 118.60
921	R. Bianco	406	4.06 ÷ 20.31

Per quanto riguarda invece l'ultimo metodo, per la stima della Q_{3d} si segue la procedura proposta dal manuale (Katopodis e Eng, 1992) e già descritta al paragrafo 7.3.

Secondo suddetta procedura, noti gli andamenti anno per anno delle portate nel periodo migratorio, i punti sperimentali delle curve di frequenza vengono determinate in *Matlab* il codice riportato in allegato (Appendice H).

In scala semi-logaritmica è possibile eseguire un'interpolazione lineare ai minimi quadrati dei punti in quanto evidenziano un andamento marcatamente lineare e quindi, nota l'equazione della curva di frequenza, si può ricavare il valore di Q_{3d} corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 10 anni che verrà assunto come valore di servizio.

In figura seguente si riporta la curva di frequenza ottenuta con tale procedura per la sezione 493 (Fig.8-3) mentre in tabella (Tab.8.3-III) si riassumono i risultati per tutte le stazioni.

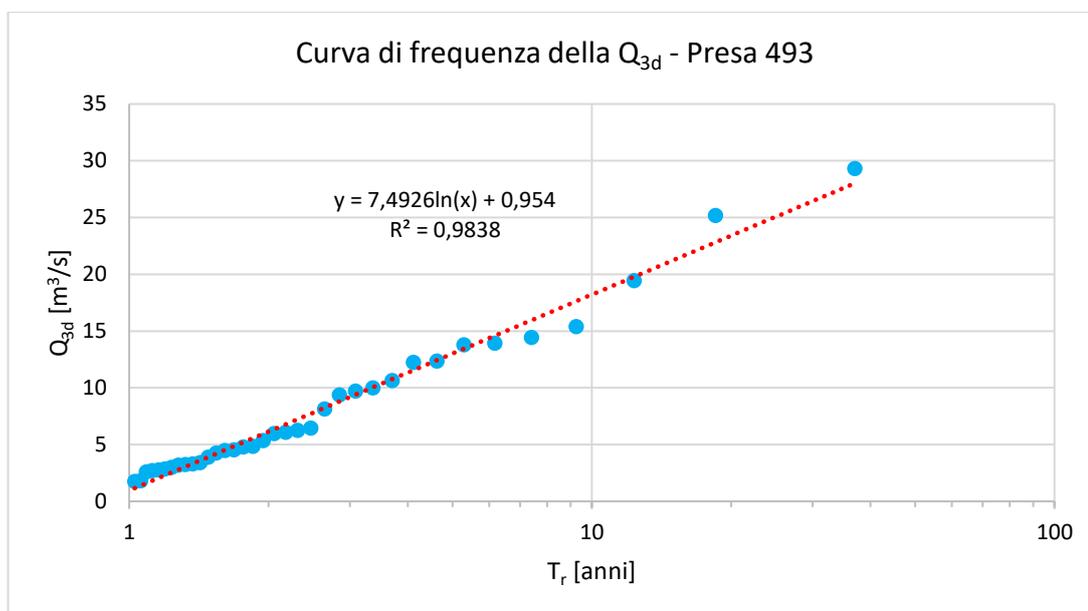


Fig.8-3: Curva di frequenza della Q_{3d} per la sezione di presa 493.

Tab.8.3-III: Risultati della procedura di calcolo della portata di progetto illustrata da Katopodis.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	Curva di frequenza	Q_d [l/s]
493	T. Slizza	$Q_{3d} = 7.493 \ln(T_r) + 0.954$	18206
495	T. Slizza	$Q_{3d} = 7.477 \ln(T_r) + 0.952$	18168
921	R. Bianco	$Q_{3d} = 1.2087 \ln(T_r) + 0.163$	3112

È evidente che i valori riportati in tabella risultano abbondantemente superiori rispetto a quelli ottenuti con gli altri metodi ed ai tipici valori di progetto dei passaggi per pesci. Questo risultato, già anticipato in precedenza, è dovuto alla notevole presenza di eventi di piena nei periodi migratori che, quando i picchi sono più ampi, vengono selezionati come Q_{3d} e quindi inficiano la procedura di calcolo.

Come ci si aspettava, la mancata presenza di riferimenti precisi per il calcolo della portata di servizio ha condotto a stime estremamente variabili e discordanti della Q_d .

Nel proseguo si decide di assumere come valori di progetto quelli ottenuti attraverso la procedura suggerita dalla provincia di Torino in quanto:

- Il metodo è suggerito dall'ente di un territorio appartenente all'arco alpino che sicuramente, rispetto agli altri sviluppati in Toscana e Canada, presenta dei contesti, delle caratteristiche più simili a quelle riscontrabili nel bacino del torrente Slizza;
- i valori rientrano nell'intervallo tipico per cui vengono progettati passaggi per pesci ricordato ad inizio paragrafo nel quale più precisamente si collocano circa a metà, assicurando quindi la non absurdità del progetto;

- i valori sono calcolati in funzione della portata di DMV e, in base a quanto riportato in tabella, ricordando sempre il paragrafo 7.3, assicurano che, come consigliato dalla regione Piemonte, il filone della corrente di attrazione sia costituito da più del 50% del DMV senza necessità di alcuna portata ausiliaria e dei relativi dispositivi;
- sebbene esterni, essendo superiori, agli intervalli definiti in Tab.8.3-II i valori risultano comunque inferiori al valor medio della portata media nel periodo migratorio il che quindi assicura il funzionamento ottimale del passaggio in gran parte dello stesso.

In particolare è possibile confrontare la portata di servizio con la curva cronologica delle portate nei periodi di migrazione in modo da conoscere il numero assoluti di giorni nei quali, nei 36 anni di osservazione, non è stata assicurata la portata di progetto nel periodo migratorio; in figura (Fig.8-4) si riporta il confronto grafico mentre i risultati sono riassunti in tabella (Tab.8.3-IV) nella quale si osserva l'ammissibilità della scelta.

Inoltre è possibile per ogni sezione determinare il valor medio del numero di giorni dell'anno in cui non è garantito il funzionamento ottimale della scala confrontando il valore di Q_d con la curva media di durata delle portate nel periodo (1975 ÷ 2010) già determinata nel capitolo 6. A titolo di esempio si riporta questo confronto grafico per la presa 493 (Fig.8-5) mentre nella tabella precedentemente citata (Tab.8.3-IV) si riportano i risultati per tutte le sezioni. Come ci si aspettava, essendo il periodo migratorio relativo a bassi valori di portata, il funzionamento ottimale del passaggio risulta mediamente sempre garantito, essendo $Q_d \leq Q_{365}$, nel corso dell'anno; cosa che assicura la fruibilità dei passaggi anche per fini diversi da quelli riproduttivi.

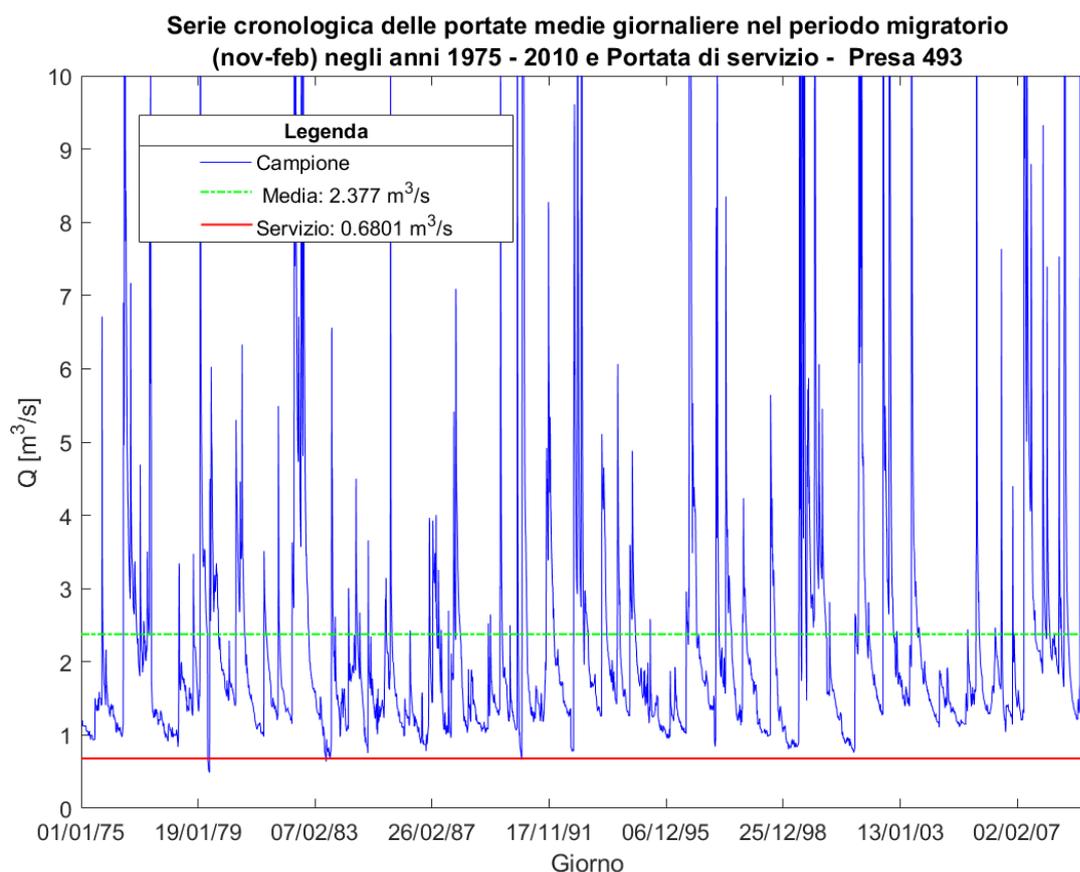


Fig.8-4: Andamento cronologico delle portate nel periodo migratorio e portata di servizio stimate nel periodo (1975 ÷ 2010) sulla sezione di presa 493, per similitudine idrologica da Thörl.

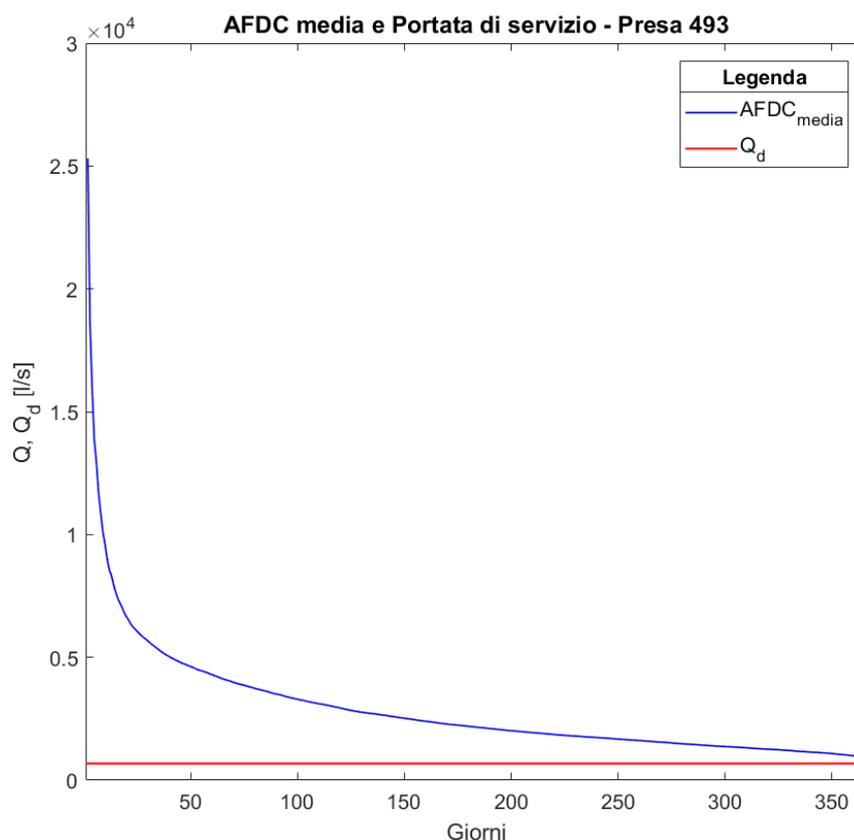


Fig.8-5: Curve medie di durata delle portate e portata di servizio stimate nel periodo (1975 ÷ 2010) sulla sezione di presa 493, per similitudine idrologica da Thörl.

Tab.8.3-IV: Portata di servizio e passaggi per pesci, numero n di giorni dell'anno in cui mediamente essa non è garantita e il numero n^* dei giorni in cui nel 1975 ÷ 2010 la portata non è garantita durante il periodo migratorio.

Sezione/ Presa	Asta fluviale	Q_d [l/s]	n	n^*
493	T. Slizza	681.06	0	12
495	T. Slizza	680.60	0	12
921	R. Bianco	73.54	0	0

Ovviamente è possibile supporre che, specie in corrispondenza di sezioni ostacolate da briglie, questi risultati possano essere ottimistici in quanto, specie nei periodi di magra parte del flusso può avvenire sub-alveo nel volume di sedimenti trattenuto a monte delle stesse.

8.4. Progetto del passaggio per pesci nella sezione 493.

Per quanto riguarda l'inquadramento geografico della sezione si rimanda al paragrafo 6.5.1.1 del presente elaborato

Come ripetuto più volte si tratta di un impianto idroelettrico ad acqua fluente che è stato realizzato per sfruttare il salto idraulico fornito dalla preesistente briglia di consolidamento a valle della quale viene immediatamente, quindi rendendo la derivazione puntuale, restituita l'intera portata derivata attraverso un canale scatolare in c.a. di grandi dimensioni (si veda successiva Fig.8-8).

Ovviamente in tale situazione la discontinuità è dovuta esclusivamente al salto e non alla mancanza di portata che coinvolge un tratto brevissimo, è quindi come intervento di ripristino è necessario e sufficiente progettare correttamente il passaggio per pesci funzionante.

Proprio per questo, ricordando il paragrafo 6.4.3, qualora la Q_d fosse inferiore alla Q_{DMV} sarebbe opportuno valutare la possibilità ridurre la portata rilasciata, elidendo tale differenza ($Q_{DMV} - Q_d$) e quindi aumentando la produzione idroelettrica.

Nel caso in esame si ritiene corretto adottare questa soluzione e cioè di ridurre il rilascio alla sola Q_d in quanto:

- la derivazione può essere considerata puntuale;
- la sola Q_d copre una buona percentuale del DMV (77.7% > 50%) che quindi, come suggerito dalla regione Piemonte, è già di per sé sufficiente a garantire l'attrattività della corrente oltre ad un corretto progetto della scala;
- l'interrimento a monte della briglia è completo e composto da materiale per lo più grossolano che dà luogo ad un importante deflusso sub-alveo. Tale situazione, oltre che ipotizzabile, è stata anche dimostrata dall'osservazione diretta in sito di deflusso nullo sul coronamento della briglia e non nulli attraverso i dreni del corpo-briglia. Con un comportamento del genere è plausibile che l'esigua differenza ($Q_{DMV} - Q_d$) si infiltre anch'essa non comportando alcuna differenza dal punto di vista ecologico.

In base alla scelta appena fatta si riportano nel diagramma seguente le curve di durata delle portate disponibili/sfruttabili dall'impianto idroelettrico (Fig.8-6); come si nota dalla figura, la riduzione del rilascio assicura un aumento di 11 giorni nel funzionamento dell'impianto.

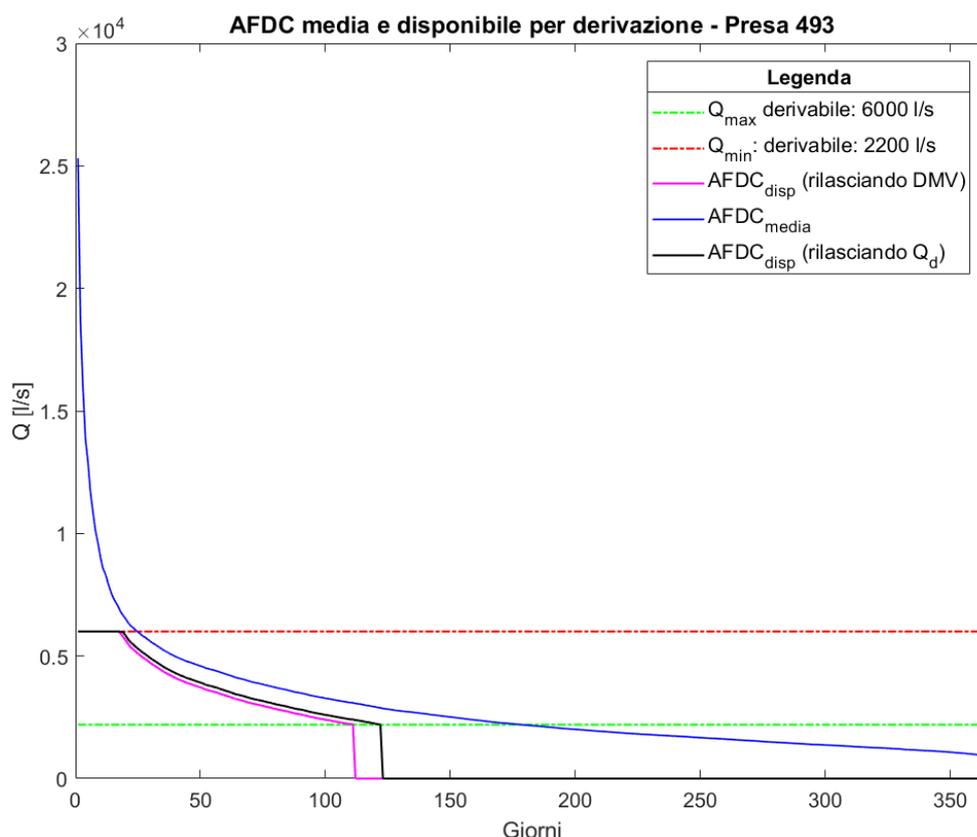


Fig.8-6: Curve medie di durata delle portate e delle portate disponibili per la derivazione idroelettrica con rilascio della Q_{DMV} e della Q_d – presa 493 per similitudine idrologica da Thörl (1975 ÷ 2010).

Per quanto riguarda l'opera di sbarramento, con riferimento alla rappresentazione schematica riportata in figura seguente (Fig.8-7) se ne riassumono in tabella le caratteristiche principali (Tab.8.4-I).

Si aggiunge che l'opera è ancora in perfette condizioni in quanto priva di danneggiamenti evidenti e di segni di degrado.

Tab.8.4-I: Caratteristiche della briglia 493.

Sezione		493
Anno costruzione		1970
Interrimento		Completo
Materiale		c.a.
Rivestimento		pietrame
Manufatti accessori		no
Paramento di monte		verticale
Paramento di valle		verticale
$l_{ala,dx}$ [m]	lunghezza ala dx	2
$l_{imm,dx}$ [m]	immorsamento ala dx	0
$l_{ala,sx}$ [m]	lunghezza ala sx	14
$l_{imm,sx}$ [m]	immorsamento ala sx	0
m_{ala} [%]	pendenza ali	0
V [m ³]	capacità invaso	0
H [m]	altezza corpo	5.3
s [m]	spessore corpo	1.6
s_b [m]	sbalzo gaveta	0.1
H_1 [m]	altezza gaveta inferiore	1.5
b_1 [m]	larghezza gaveta inferiore	27
m_1	pendenza gaveta inferiore	1
H_2 [m]	altezza gaveta superiore	0.5
b_2 [m]	larghezza gaveta superiore	33
m_2	pendenza gaveta superiore	1

Trattandosi di intervento su opere già realizzate (1970) risulta naturalmente più complesso prevedere l'inserimento del passaggio, non essendo stato previsto in fase di progetto; pertanto si riassumono di seguito le principali problematiche individuate:

- l'elevata altezza dell'ostacolo, relativamente ai passaggi per pesci, comporta un'importante riduzione delle scelte tipologiche fattibili ed in particolare delle naturalistiche che sono solitamente la tipologia più adatta per l'ittiocompatibilizzazione delle briglie ad interrimento completo e inoltre rende impossibile l'adozione di una soluzione a ridotto impatto visivo;
- la briglia di consolidamento risulta oggi completamente interrita, quindi oltre a svilupparsi flusso sub alveo precedentemente citato possiede capacità di invaso nulla e non vi è alcuna possibilità di regolazione del flusso. Questo, a seconda della posizione del passaggio, potrebbe comportare oscillazioni maggiori del livello idrico e della portata a monte che ne richiedono una maggiore flessibilità;
- sebbene la briglia abbia ridotto la pendenza del fondo a monte della briglia il torrente può ancora dar vita ad elevato trasporto solido che porterebbe a compromettere il funzionamento o, specie in condizioni di piena, danneggiare il passaggio;
- la sponda destra è composta da una parete in roccia ad elevata pendenza. Alla sua base è evidente la caduta di detriti dovuti in parte al suo stato di alterazione che, a seconda della posizione del passaggio, possono compromettere o danneggiare l'opera direttamente cadendo o indirettamente quando trasportati dalla corrente.
Quanto appena descritto è evidente soprattutto a valle dello sbarramento dove per giunta la parete presenta una sporgenza che "copre" la briglia per circa 8 m rendendo estremamente difficoltoso il posizionamento su quella sponda;
- la sponda sinistra ospita tutti i manufatti della derivazione ed a monte è costeggiata dalla strada statale;

- l'opera di restituzione, nonostante le dimensioni elevate della condotta, reimmette a valle dello sbarramento portate molto più elevate (minimo 2200 l/s) di quelle uscenti dal passaggio per pesci; pertanto, qualora venisse posto in destra idrografica, l'attrattività di quest'ultimo potrebbe risultare compromessa.

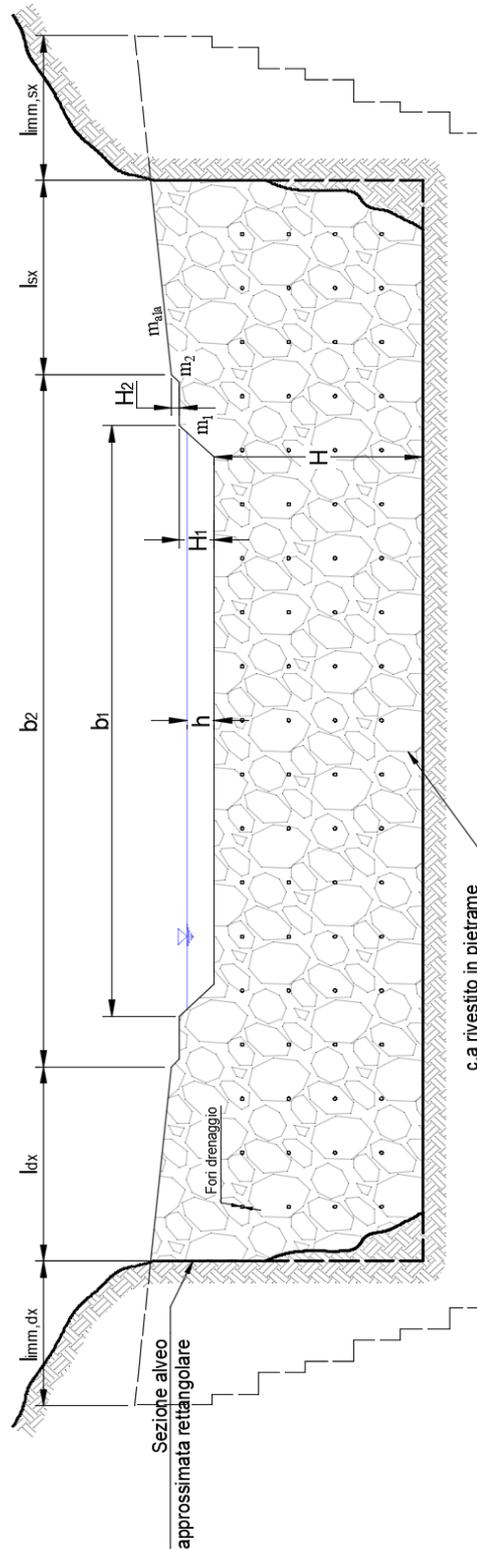


Fig.8-7: Schema di sezione trasversale e simbologia utilizzata per le briglie chiuse.

In base alle osservazioni appena fatte ed in particolare vista l'altezza del manufatto è possibile considerare soluzioni non fattibili l'intero insieme dei passaggi naturalistici visto l'ingombro ed i costi che richiederebbero al privato.

A tal proposito è doveroso far notare che, ricordando il paragrafo 2.4 (si veda figura Fig.2-15), la briglia di dimensioni ancora superiori (7 m) che su cui insiste la derivazione 497 è stata ittiocompatibilizzata attraverso una fish ramp in massi.

Ovviamente si tratta di un caso particolare che deriva dallo sfruttamento della sponda stessa del torrente che, a valle della briglia, si prestava a svolgere la funzione di rampa e sulla quale quindi sono stati cementati i *boulders*; situazione che non si verifica assolutamente nella presente sezione.

Inoltre (come testimonia sempre Fig.2-15), nonostante la restituzione abbia correttamente la portata diretta verso l'imbocco della scala, l'elevata pendenza e il trasporto solido a monte che ne impedisce l'alimentazione sembrano essere sufficienti a smentirne la funzionalità per lo meno nei periodi di magra in cui è richiesta.

Quindi sostanzialmente la tipologia viene ricercata tra i passaggi tecnici o speciali.

Purtroppo, per motivi di ingombro longitudinale e per mantenere l'imbocco nei pressi dello sbarramento, tutte le tipologie tecniche necessitano di più rampe cosa che sarebbe risultata possibile solo posizionando il passaggio in posizione centrale in quanto:

- in destra è impedita dalla parete rocciosa sporgente (Fig.8-8);
- in sinistra sarebbe stata posta tra paratoia e restituzione (Fig.8-9) occludendo in tal modo con i muri di partizione lo scarico della paratoia stessa. Ricordando che la difesa resta sempre aspetto prioritario ciò non risulta ammissibile.

Va inoltre considerato anche l'enorme impatto visivo che avrebbe provocato un passaggio tecnico di tali dimensioni soprattutto se in posizione non defilata.

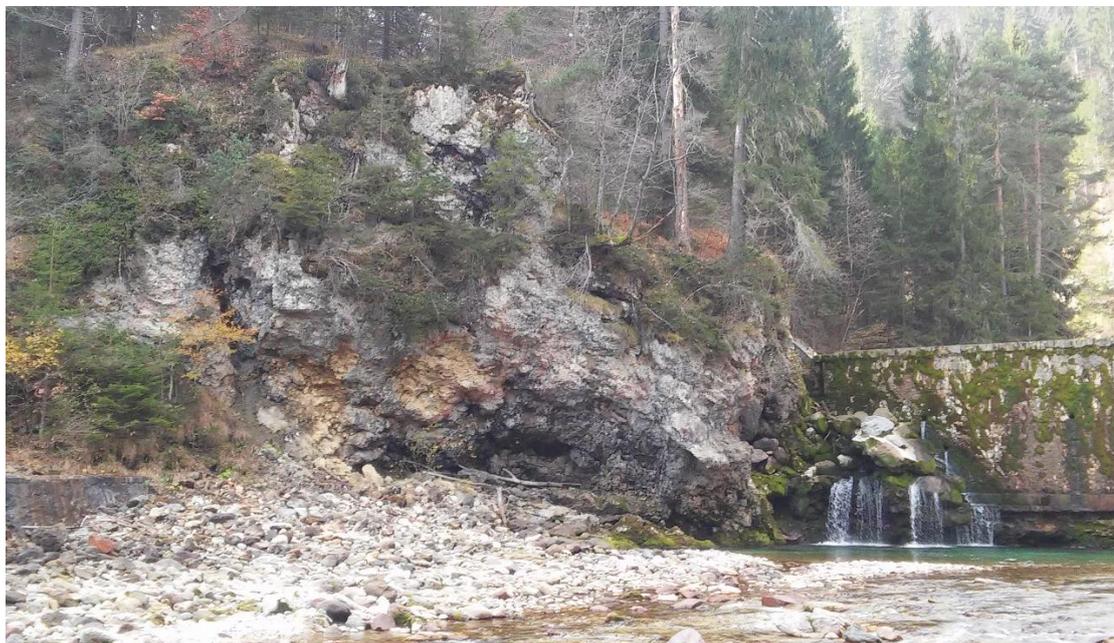


Fig.8-8 Sponda destra del torrente Slizza immediatamente a valle della briglia la cui ala destra è completamente coperta dalla parete.



Fig.8-9: Scogliera in massi cementati per il deflusso delle portate di scarico tra restituzione e paratoia.

Pertanto, sebbene Tab.8.3-IV garantisca la presenza della Q_d , con derivazione funzionante e tenendo conto della dispersione sub-alveo osservata, si ricade in una situazione di salto elevato con spazio e portate ridotte nella quale le soluzioni ottimali risultano i passaggi speciali.

Risultando complesso per le stesse ragioni dei passaggi tecnici e svantaggioso, vista l'altezza relativamente non elevata, l'inserimento di un ascensore per pesci la scelta è ricaduta sulla realizzazione di una chiusa per pesci in sponda sinistra.

Di seguito, tenendo presente il funzionamento descritto al paragrafo 7.5.3.2, si illustrano ulteriori considerazioni che hanno decretato la scelta tipologica e della sponda:

- l'inserimento in sponda destra è sempre impedito dalle problematiche evidenziate in precedenza alle quali si può aggiungere la presenza non certa di una portata a causa dell'evoluzione morfologica dell'alveo a monte. Quest'ultimo problema non si presenta in sinistra dove la portata è assicurata dalla presenza dell'opera di presa;
- è possibile sfruttare lo spazio compreso tra la restituzione e la paratoia di scarico in sponda sinistra in cui la chiusa è l'unica tipologia di passaggio che non compromette lo scarico stesso;
- adottando gli stessi materiali della briglia si può ottenere una buona fusione dell'opera con la chiusa che produrrebbe un incremento di impatto visivo limitato;
- è possibile sfruttare la paratoia di scarico della derivazione come dispositivo di apertura/chiusura a monte della chiusa. Questa funzione diviene secondaria qualora dovesse svolgere la funzione di scarico in fase di piena durante le quali il funzionamento del passaggio non sarebbe comunque richiesto.
Inoltre l'utilizzo di un dispositivo di regolazione consentirà di controllare al meglio le velocità nella chiusa consentendo la risalita di tutti gli esemplari.
- l'imbocco della chiusa può essere posizionato subito a monte dell'opera di restituzione della quale quindi si sfrutta l'inevitabile attrattività. Eventualmente, per creare minore confusione ai pesci, si potrebbe anche ripensare la restituzione in modo da distribuirla spazialmente con più condotte di cui quella più vicina allo sbarramento diretta all'imbocco della chiusa;
- la presenza della presa garantisce la presenza di un filone di corrente a monte dell'ostacolo nel lato del passaggio indipendentemente da future variazioni geomorfologiche.

Questa soluzione (Fig.8-10) consente quindi di sfruttare al massimo le opere già presenti in alveo mantenendone intatta la funzionalità, di ridurre le costruzioni ex-novo che sono di fatto ridotte al canale di chiusa ed alla paratoia di valle e le modifiche sullo sbarramento delle quali l'unica consiste in una diversa gestione della paratoia di scarico che ne potrebbero compromettere la stabilità.

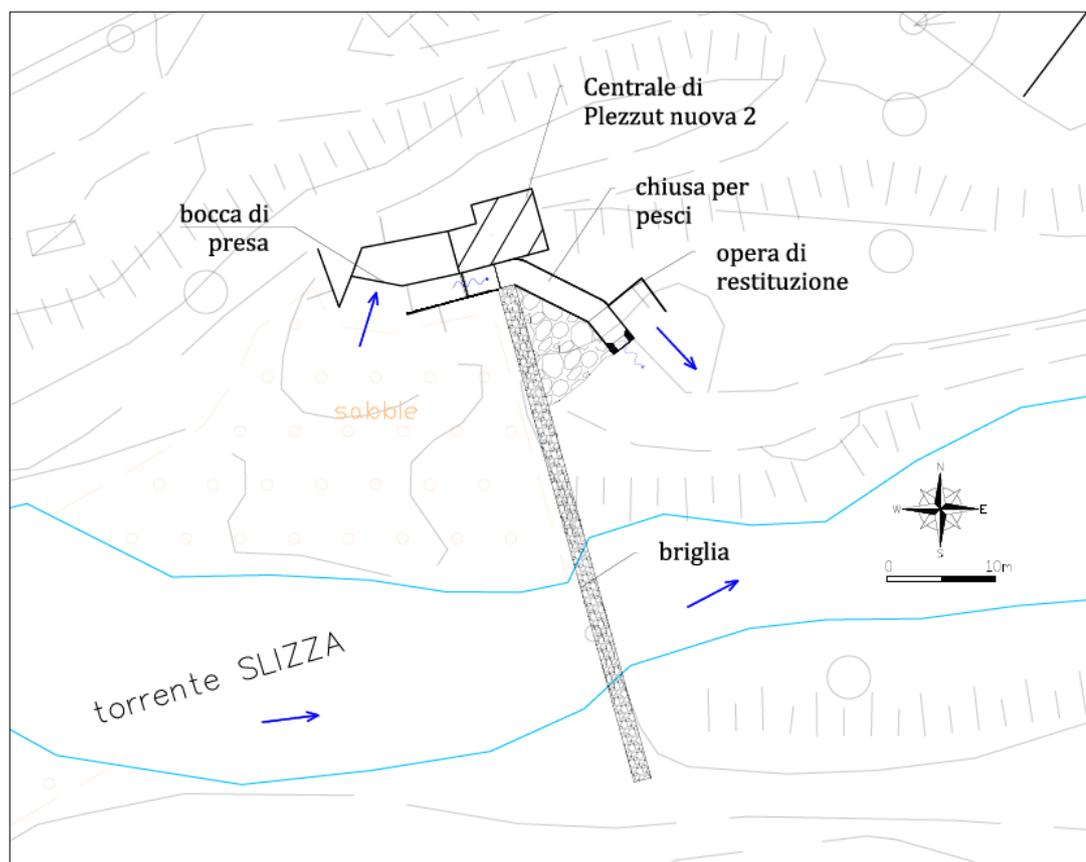


Fig.8-10: Schema planimetrico di inserimento della chiusa per pesci.

8.4.1. Dimensionamento della chiusa per pesci.

Di seguito si procede ad illustrare le fasi di progetto della chiusa per pesci, il paragrafo teorico di riferimento per le relazioni, i vincoli ed i simboli utilizzati è il 7.5.3.2.

In base alla descrizione dell'opera di derivazione appena svolta si sceglie di realizzare una chiusa coperta; la soluzione aperta infatti non avrebbe eccessivi vantaggi paesaggistici poiché la soluzione coperta si integrerebbe comunque bene con la briglia esistente ed inoltre si ricorda che essa è preferibile solamente per dislivelli inferiori ai 4 m.

Si sottintende quindi che, al fine di integrare il passaggio con lo sbarramento esso verrà realizzato con gli stessi materiali, ovvero c.a. rivestito in pietrame.

Il dimensionamento consisterà nel:

- definire la posizione e la geometria delle camere di monte/valle e del canale di raccordo;
- definire la pendenza del canale di chiusa che tuttavia, visto il funzionamento della chiusa, risulta un parametro molto meno importante rispetto agli altri passaggi e che sarà implicitamente definito in maniera tale da raccordare le due camere;
- definire gli organi mobili per l'apertura e chiusura delle camere.

Essendo il procedimento di progetto piuttosto esteso e frammentato si preferisce riportare immediatamente nelle figure seguenti (Fig.8-11 e Fig.8-12) la planimetria e sezione della chiusa progettata.

Anzitutto risulta fondamentale conoscere il livello di monte del torrente Slizza a monte del passaggio che, coincidendo con la quota della presa, risulta essere pari a 726 m s.l.m.; per quanto riguarda invece la quota del fondo sulla sezione di valle del passaggio, questa coinciderà con quella presente a valle della restituzione che è pari a 720 m s.l.m.

Il tipico funzionamento intermittente del passaggio deve ovviamente garantire la presenza/permanenza di più pesci per più tempo nella camera di valle alla quale quindi viene solitamente richiesta una larghezza superiore rispetto agli altri passaggi.

Tra quelli tradizionali, escludendo ovviamente le *bottom ramp*, la maggiore larghezza si riscontra nelle *fish ramp* dove il minimo richiesto è di 2 m mentre nei passaggi tecnici per la trota fario non sono mai raccomandate larghezze superiori a 1.2 m.

Pertanto, considerando che si sta operando sull'asta principale del reticolo e nella quale il ripristino dovrà garantire il passaggio di un elevato numero di pesci si decide di adottare una larghezza di 2.3 m quindi superiore al resto dei passaggi.

Si precisa che tale valore è stato selezionato anche in modo da rendere inseribile la camera di monte tra lo sbarramento e l'edificio di centrale ovvero mantenendo la sezione della paratoia.

Tale larghezza si suppone per ora mantenuta anche nella condotta di chiusa e nella camera di valle.

Il volume della camera andrebbe stimato considerando il volume massimo dei pesci presenti che, a meno di indagini specifiche risulta ovviamente incognito e deve essere quindi stimato in maniera alternativa.

Nel caso in esame è possibile fare riferimento ai risultati del campionamento ittico svolto in stazione 7 (si veda figura Fig.5-6) in quanto posta subito a monte dell'ansa del torrente dove sono poste le prese 493 e 495 e non essendoci altri ostacoli nel tratto tra essa e le due briglie.

Poiché si sta trattando la derivazione posta più a monte è sottointeso che il medesimo ragionamento verrà fatto anche sulla sezione 495, identica e più valliva, dove cautelativamente si suppone il passaggio perfettamente funzionante.

I risultati del campionamento nella stazione 7 hanno evidenziato la presenza di 45 esemplari tra le varie classi d'età per un peso ed una lunghezza totale rispettivamente di 2.976 kg e 7.6 m; quindi si osserva che:

- in proiezione piana sarebbe richiesta una lunghezza minima di $\frac{7.6}{2.3} = 3.3$ m. Considerando l'impossibilità dei pesci di trovarsi tutti complanari si può sicuramente ritenere ammissibile una lunghezza di 3 m;
- la densità volumetrica, ossia il rapporto tra la massa di animali allevati ed il volume totale del manufatto che li contiene, è fondamentale per il benessere del pesce poiché da essa dipende l'ossigenazione, la libertà di movimento, ecc... Tale benessere risente anche della qualità dell'acqua, che in questo caso è sicuramente buona essendo in alveo, e dalla specie/età del pesce.

In trotilcoltura si riscontrano valori di questa grandezza compresi nell'intervallo $30 \div 80$ kg/m³ (Regione Piemonte) e la cui adozione condurrebbe naturalmente a volumi di camera molto ridotti rispetto a quelle ipotizzate nel precedente calcolo anche se ripetuto col massimo numero di esemplari campionati nello Slizza, ossia 90, ma che sono comunque utili per considerare il margine di funzionalità della camera stessa.

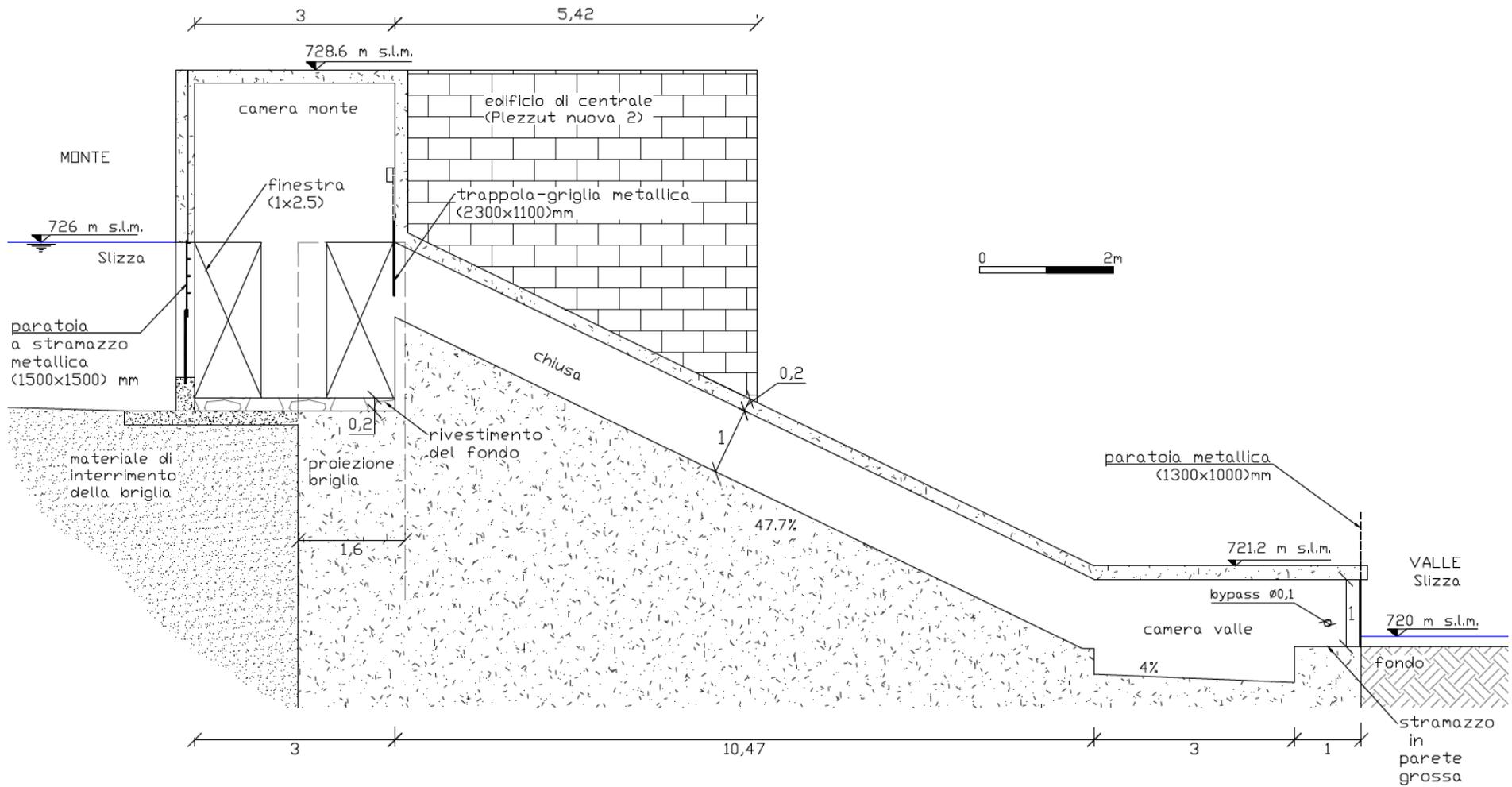


Fig.8-11: Sezione verticale della chiusa per pesci sulla derivazione 493.

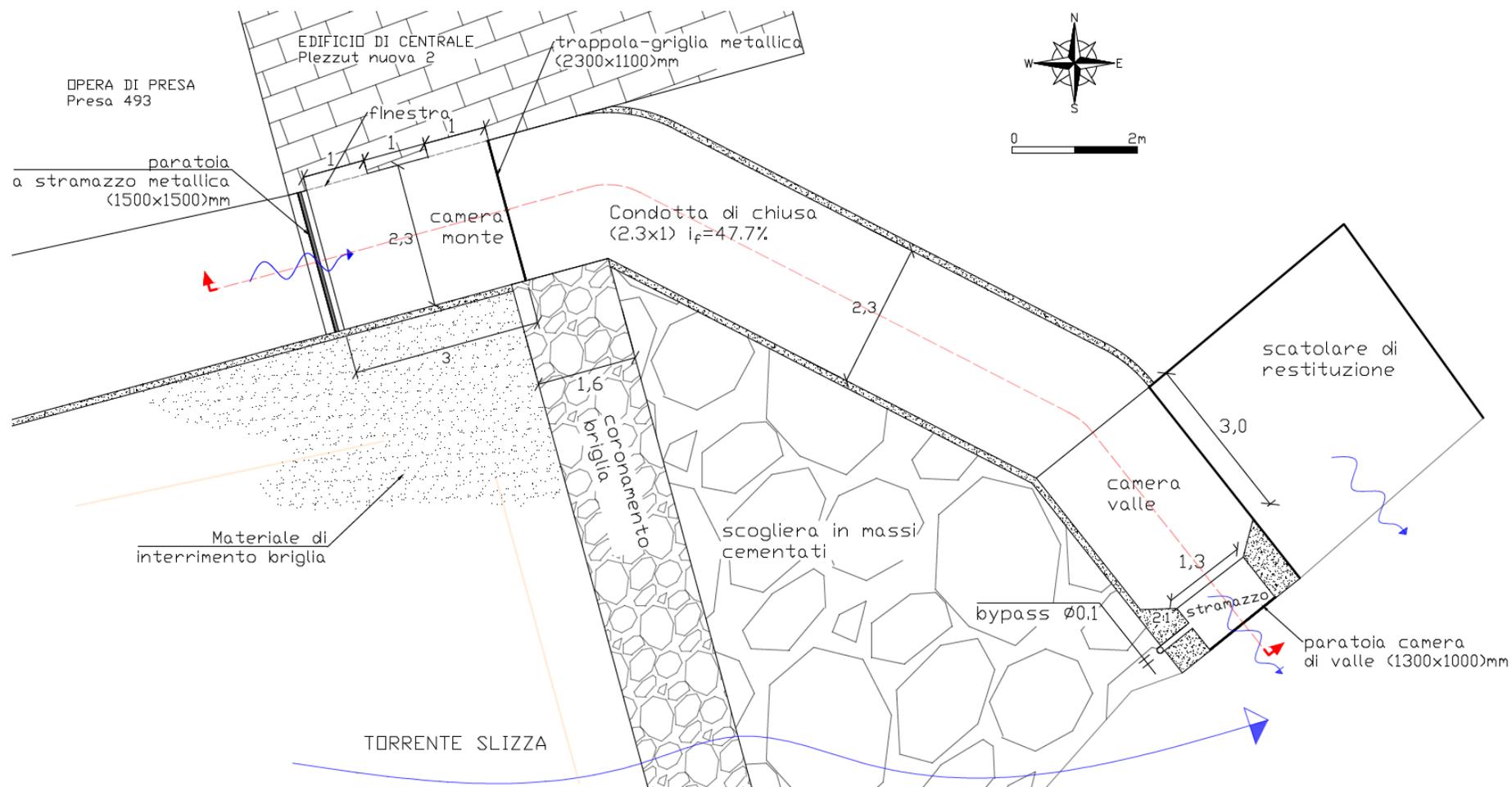


Fig.8-12: Sezione orizzontale della chiusa per pesci sulla derivazione 493 – quote in metri salvo specificato.

Al fine di sfruttare al massimo i manufatti già esistenti si decide di estendere la camera di monte sino alla sezione individuata dall'estradosso della briglia dalla quale quindi comincerà anche la condotta di chiusa così da sfruttare il fondo già realizzato a valle della paratoia di derivazione.

Questo comporta per la camera di monte una pianta 2.3x3 m.

Sebbene solitamente si utilizzino dimensioni diverse per le due camere facendo più grande quella di valle in questo caso, per le osservazioni appena fatte si decide di conservare l'assunzione iniziale e di assumere per quella di valle una pianta di 2.3x3 m.

Si sottolinea che al fondo della camera di valle viene assegnata una lieve pendenza del 4% al fine di evitare il ristagno e la formazione di zone asciutte in modo da favorire la permanenza dei pesci; mentre in quella di monte si prevede l'inserimento di una cosiddetta trappola che eviti la fuoriuscita dei pesci composta praticamente una griglia che impedisce il ritorno nella condotta di chiusa.

Allo stesso modo, sempre per quanto visto in precedenza, avendo la certezza di soddisfare i requisiti volumetrici, l'altezza delle camere e quindi la copertura del passaggio, è stata selezionata in modo da avere una buona integrazione visiva con le opere preesistenti.

Questo significa che l'altezza sarà tale da avere lo stesso livello dell'edificio di centrale per la camera di monte e del canale di restituzione a valle (si veda Fig.8-11) poste rispettivamente a 728.57 e 721.2 m s.l.m.

Si può notare che in base al dimensionamento sinora svolto, visto che la camera di monte si sviluppa lateralmente all'edificio di centrale, essa può prevedersi la realizzazione di due finestre di osservazione in vetro (1x2.5) m spaziate di 1 m che, coprendo l'intero livello massimo di invaso previsto nella camera, consentono l'ispezione visiva per il monitoraggio biologico del passaggio ed aiuta anche le operazioni di manutenzione.

I dispositivi di entrata ed uscita dalle camere sono i seguenti:

- paratoia di rilascio del DMV per quanto riguarda la camera di monte. Questa è ovviamente già esistente tuttavia viste le sue dimensioni elevate, al fine di rispettare i vincoli sulle velocità a cui è soggetta la corrente fluente nel passaggio si prevede di sostituirla con una paratoia a stramazzo 1500x1500 m avente complessivamente le medesime dimensioni della precedente;
- paratoia e stramazzo in parete grossa per quanto riguarda la camera di valle le cui dimensioni verranno determinate per garantire un buon funzionamento del passaggio in fase di attrazione.
- tra camera di monte e la condotta di chiusa si posiziona la griglia/trappola precedentemente citata. Questa avrà le medesime dimensioni della sezione della condotta e pertanto si rimanda al seguito per la sua definizione.

Per prima cosa si ricorda che in fase di attrazione avrà la paratoia di valle completamente aperta mentre quella di monte deve essere aperta in modo tale da verificare una velocità in uscita dalla camera di valle pari a $V = 0.9 \div 2 \text{ m/s}$.

L'equazione del moto da considerare è quindi quella delle luci a stramazzo non rigurgitato ed a parete sottile (Fig.8-13) da cui si può estrarre l'abbassamento y della paratoia.

Al fine di soddisfare anche tutte le successive verifiche, dopo diverse iterazioni, si è deciso di adottare un abbassamento della paratoia pari a 17 cm al quale corrisponde una portata $200 \frac{l}{s} < Q_d = 680 \text{ l/s}$.

Si nota che questo valore è inferiore alla portata di servizio calcolata ad inizio capitolo il che ovviamente è giustificabile, come dimostra anche la possibilità di deroga offerta dal PRTA (si veda 6.4.3), vista la natura puntuale dell'impianto ed addirittura vantaggioso in quanto permette, senza compromettere la tutela ecologica, un aumento della derivazione che comporta 37 giorni aggiuntivi di funzionamento dell'impianto.

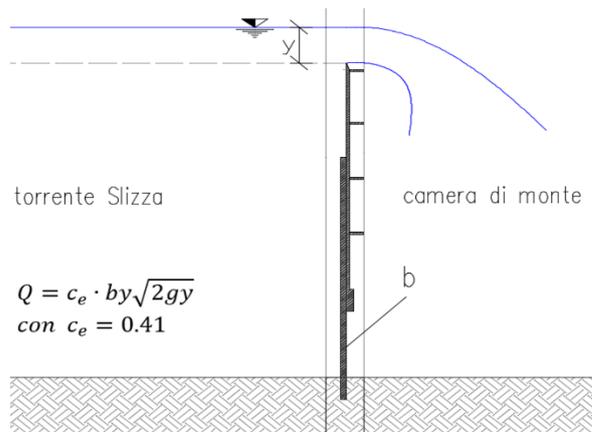


Fig.8-13: Deflusso a stramazzo in parete sottile attraverso la paratoia della camera di monte.

Ovviamente il livello di monte è variabile in funzione del deflusso nel torrente Slizza; tuttavia manovrando adeguatamente la paratoia, seguendo la legge sopra riportata, è sempre possibile mantenere fissa l'altezza della lama stramazante e quindi la portata Q costante sul passaggio.

All'ingresso del passaggio, con paratoia di valle completamente aperta, la legge di efflusso da considerare è quella dello stramazzo a parete grossa che collega camera di valle e torrente Slizza (Fig.8-14)

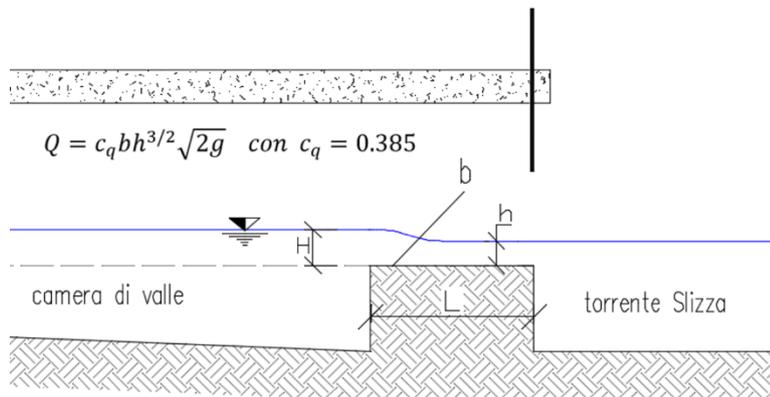


Fig.8-14: Deflusso a stramazzo in parete grossa all'uscita dalla camera di valle.

Anzitutto si determina la sezione di deflusso atta a verificare i limiti di velocità precedentemente imposti:

$$A = b \cdot h = \frac{Q}{1.2} = 0.17 \text{ m}^2$$

Quindi dall'equazione del moto, nota la portata, è possibile calcolare i livelli idrici a monte ed attraverso lo stramazzo poiché:

$$\begin{cases} H = \left(\frac{2Q}{3c_q A \sqrt{2g}} \right)^2 \text{ con } c_q = 0.385 \rightarrow H = 0.22 \text{ m} \\ h = \frac{2}{3} H = 0.15 \text{ m} \end{cases}$$

Per quanto appena visto lo stramazzo dovrà essere realizzato su una larghezza di $b \geq \frac{A}{h} = 1.13 \text{ m}$ e, affinché sia considerabile in parete grossa deve avere uno spessore $L \geq 2H = 0.44 \text{ m}$; si quindi assumono rispettivamente i valori di 1.3 e 0.75 metri.

Come si nota, considerando la larghezza della camera di valle, questa scelta renderà necessaria la realizzazione di un suo restringimento prima dello stramazzo; questo verrà fatto in modo graduale con una pendenza di 2:1, e quindi su una lunghezza di 0.25 m, in modo da inserire stramazzo e restringimento in un metro aggiuntivo alla camera di valle (Fig.8-15).

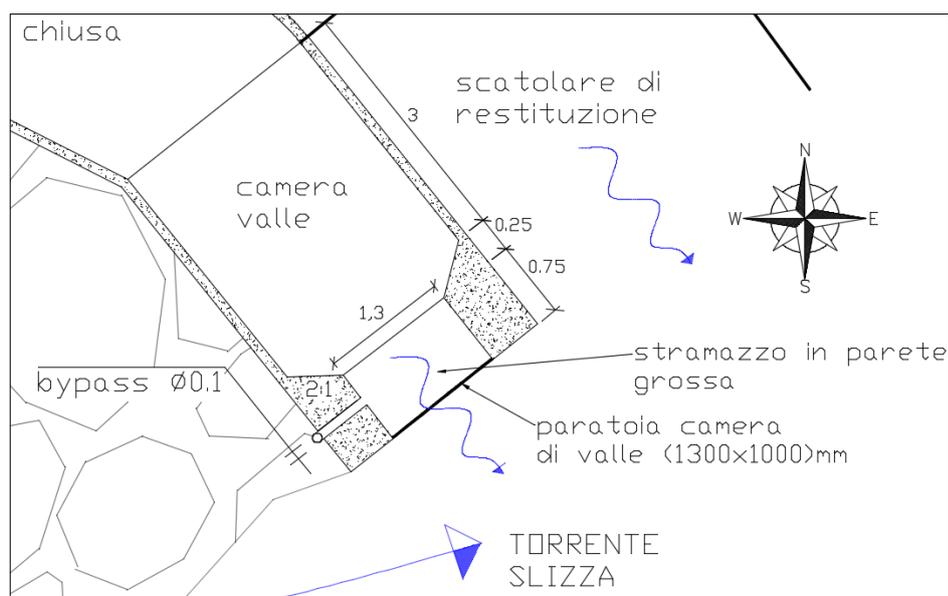


Fig.8-15: Particolare dello stramazzo e del foro di by-pass nella camera di valle.

Inoltre, come sempre nei passaggi per pesci è preferibile che gli stramazzi siano parzialmente rigurgitati e quindi si decide di posizionare la soglia dello stramazzo a $-h$ dal pelo libero di valle in modo da avere anche un buon raccordo privo di salti col torrente; questo, considerando l'altimetria della camera di valle richiede un petto dello stramazzo pari a circa 50 cm

Come si nota sempre da figura precedente, la sezione dello stramazzo individua automaticamente il restringimento della camera di valle ed anche la dimensioni della paratoia di valle che, per essere capace di occludere completamente la luce, deve avere dimensioni 1300x1000 mm

Ovviamente, anche il livello idrico a valle può subire variazioni riducendo l'attrattività del passaggio mentre non vi è invece pericolo di velocità troppo elevate avendo considerato il livello minimo a valle; tuttavia si ricorda che il posizionamento è stato selezionato in modo da sfruttare la portata sicuramente maggiore, tanto da impedire la risalita, dell'opera di restituzione e quindi è lecito supporre che, per velocità inferiori a 0.9 m/s i pesci si posizionino all'imbocco del passaggio

A questo punto è possibile determinare il profilo della copertura della chiusa scatolare congiungendo i due seguenti punti delle sezioni di raccordo (Fig.8-16):

- sulla camera di valle la copertura della condotta si raccorda con la copertura della camera;
- sulla camera di monte la copertura della condotta si raccorda col livello massimo della camera di monte che si raggiunge a riempimento completato e pertanto coincide con quello del torrente;

Ne risulta una pendenza del canale $i_f = 47.7 \%$

Le fasi di riempimento/svuotamento devono essere svolte manovrando le paratoie di monte e valle in modo da mantenere in qualunque in qualunque istante e sezione delle camere una velocità $V \leq 1.5 \text{ m/s}$ una variazione di pelo libero $\dot{h} \leq 2.5 \text{ m/min}$. In particolare quest'ultimo vincolo deve essere soddisfatto anche nella chiusa.

Solitamente è consigliato (Larinier, 2002) mantenere anche in queste fasi la stessa apertura, e quindi la stessa portata: $Q = 12 \text{ m}^3/\text{min}$, adottata nella fase di attrazione, della paratoia di monte; in queste condizioni:

- per come è stata determinata l'apertura della paratoia è sicuro che nella camera di monte vi siano sicuramente velocità inferiori o uguali ai 1.5 m/s poiché questa decresce man mano la bocca a battente diviene rigurgitata;
- con questi valori di portata, le variazioni di livello nelle camere, essendo l'area sezione orizzontale pari a 6.9 m^2 , saranno di circa 1.73 m/min. Visto il valore si intuisce che proprio questa verifica risultava di impedimento all'utilizzo della portata di progetto nel passaggio.
- il limite sulla variazione di livello verrà utilizzato per dimensionare l'altezza dello scatolare di chiusa.

Avendone già fissato la larghezza, al fine di rispettare il vincolo è necessaria una sezione orizzontale di: $A_0 \geq \frac{Q \left[\frac{l}{s} \right]}{2.5} = 4.8 \text{ m}^2$.

Questo comporta un'altezza verticale minima della sezione rettangolare pari a $\frac{A_0}{b} \cdot i_f = 0.77 \text{ m}$

Per cui si decide di adottare per la chiusa una sezione 2.x1 m.

Nota la sezione dello scatolare è quindi possibile tracciare anche il fondo della chiusa completandone così il dimensionamento (Fig.8-16):

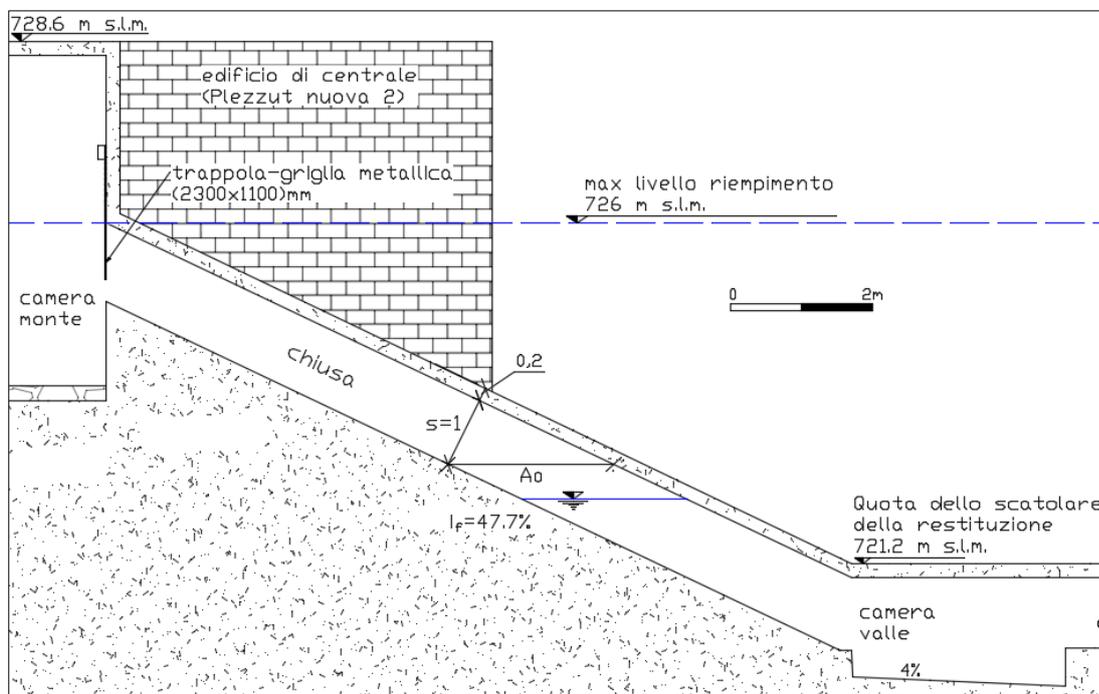


Fig.8-16: Condotta di chiusa.

Quindi, per avere subito soddisfatte anche le verifiche in fase di svuotamento sarà sufficiente fare defluire la medesima portata Q dalla camera di valle.

Questo è ovviamente impossibile nel rispetto dei vincoli di velocità in condizioni di passaggio completamente riempito in quanto, essendo le due camere collegate, è molto elevata la differenza di carico e quindi anche la velocità di efflusso dalla luce di fondo.

Il problema si risolve quindi dotando la camera di valle di un piccolo foro laterale di bypass posto a +0.3 m dal fondo dello stramazzo in modo tale da rendere successivamente ammissibili le velocità anche all'apertura della paratoia di valle (Fig.8-17).

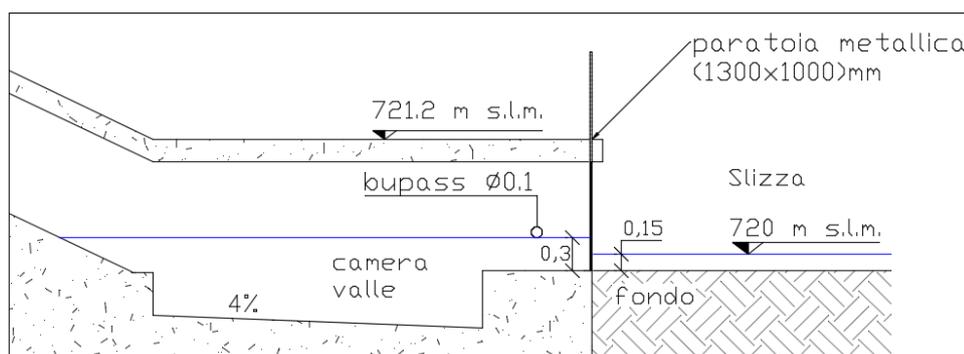


Fig.8-17: Situazione nella fase di svuotamento della chiusa a esaurimento del deflusso dal bypass aperto.

8.4.2. Monitoraggio di efficienza del passaggio.

Nel corso della progettazione dell'opera è di fondamentale importanza sviluppare in contemporanea al dimensionamento anche la redazione di uno specifico piano di monitoraggio dell'opera.

Come già accennato varie volte, in questa tipologia di opere, il monitoraggio è un aspetto centrale e prioritario del progetto in quanto è l'unico strumento mediante il quale individuare e correggere gli eventuali errori compiuti nel dimensionamento che, a causa della notevole interdisciplinarietà richiesta, sono spesso inevitabili.

Si ricorda che il piano deve sempre prevedere:

- un monitoraggio idrologico, atto a verificare il rispetto dei parametri idraulici assunti in fase di progetto durante il reale funzionamento del passaggio in diverse condizioni idrologiche. I parametri principali da tenere monitorati nel passaggio sono la portata fluida, i livelli idrici, la velocità relativi al passaggio; a queste bisogna aggiungere una misura del trasporto solido che può essere espresso in termini di portata oppure di livello deposto. Come si vedrà a breve quest'ultimo aspetto risulta anche fondamentale per la redazione del piano di manutenzione del passaggio;
- un monitoraggio biologico, atto a controllare l'effettivo passaggio dell'ittiofauna attraverso il dispositivo durante i periodi migratori ovvero a verificare il ripristino della continuità del corso d'acqua tramite il passaggio;
- un monitoraggio meccanico, atto a controllare il funzionamento dei vari componenti e/o organi meccanici che possono essere presenti in alcune tipologie di passaggi per pesci tra le quali indubbiamente rientrano le chiuse.

Alla luce di quanto visto nel capitolo precedente, ossia considerando la complessa iterazione di fattori che garantiscono il funzionamento di un passaggio, è importante sottolineare l'uguale importanza di tutte le tipologie di monitoraggio sebbene è ovvio che il maggior grado di incertezza ricade su quello biologico le cui tecnologie sono meno consolidate rispetto agli altri.

In particolare, nella chiusa per pesci appena dimensionata è già stata evidenziata la necessità di predisporre un monitoraggio meccanico dei vari organi mobili quali sono tutte le paratoie presenti; questo compito è oggi completamente sostenibile attraverso i sistemi di controllo che, oltre alla regolazione, consentono la verifica a distanza del funzionamento dei dispositivi.

Come sempre al controllo telematico va aggiunta una periodica verifica con sopralluogo in situ.

Per quanto riguarda il monitoraggio idrologico, questo generalmente si realizza collocando appositi sensori per la misura della portata fluida e di quella solida al fondo; i primi possono essere ad esempio degli ADCP mentre per il trasporto al fondo possono essere utilizzati sensori come ad esempio quelli ad impatto (ossia geofoni), acustici oppure magnetici.

Tutti i sensori possono essere agevolmente collocati nelle camere di monte e valle del passaggio nelle quali la loro funzione di monitoraggio diventa anche essenziale per verificare la presenza di condizioni idonee per il monitoraggio biologico.

Come già accennato, il monitoraggio biologico, rispetto ai precedenti risulta quello che gode di una maggiore flessibilità; questo specie nella tipologia di passaggio che, per sua natura, consente l'isolamento e l'intrappolamento dei pesci nelle camere e che è essenzialmente adiacente all'edificio di centrale.

Naturalmente, come in tutte le tipologie di passaggi, è sicuramente consigliato predisporre un monitoraggio indiretto mediante campionamento; questo consiste sostanzialmente nel confronto di campionamenti ittici, ad hoc o fatti per altri studi, svolti mediante reti o elettrostorditore, su sezioni a monte e a valle dell'opera.

Tuttavia questa tipologia di monitoraggio fornisce dei dati istantanei e non continui sul passaggio dei pesci ed inoltre le dimensioni della sezione rendono queste operazioni piuttosto onerose; pertanto, essendoci la possibilità, è bene associare altri monitoraggi di tipo diretto.

Infatti tra le peculiarità delle *fish locks* vi è quella di rendere praticabili praticamente tutte le tecniche di conteggio dei pesci e cioè quella per cattura, automatica e per ispezione visiva (in tempo reale o registrata).

Tra queste si decide di escludere momentaneamente, rimandandone la descrizione a fine paragrafo, la tecnica del conteggio mediante cattura che, insieme ai monitoraggi per marcatura e radio-tracking, risultano soluzioni maggiormente impattanti sui pesci e che richiedono un maggiore lavoro umano.

Di seguito si descrivono le soluzioni preferibili per la chiusa progettata:

- per quanto riguarda il conteggio dei pesci in uscita dalla camera di monte, visto che questa comunica direttamente con l'edificio di centrale, è possibile realizzarla per ispezione visiva attraverso le due finestre che consentono l'osservazione di tutta la camera e specie delle sue sezioni di entrata e uscita.

L'ispezione può essere continua ed in tempo reale oppure continua a posteriori. La prima soluzione richiede la presenza fissa di un operatore che chiaramente svolge un conteggio semplificato, ossia senza specificare specie e misure, dei pesci; tale soluzione, necessaria solo in caso di passaggi a funzionamento continuo, è ovviamente molto onerosa e sconsigliata a meno della presenza di personale volontario.

Infatti nelle *fish lock*, a causa della loro natura discontinua, è particolarmente agevole l'ispezione automatica mediante un sistema di registrazione video che verrà posto nell'edificio di centrale e di cui una rappresentazione schematica viene fornita in figura seguente (Fig.8-18).

In questo modo è possibile limitare automaticamente la registrazione alle sole fasi di riempimento e uscita che possono essere analizzate in dettaglio in qualunque luogo e momento. Affinché il sistema funzioni si deve evitare che i pesci vadano indietro, quindi rispettando i vincoli di velocità della corrente e chiudendo la trappola; inoltre devono esserci adeguate condizioni di visibilità garantite dalle dimensioni della finestra e dal sistema di illuminazione nella camera.

Queste condizioni si rispettano attraverso il monitoraggio idrologico, in particolare quello del trasporto solido, e un controllo regolare, se possibile giornaliero, per pulire la finestra e sostituire tutta l'apparecchiatura utilizzata, dalle luci ai registratori.

Travade & Larinier nell'articolo "*monitoring techniques for fishways*" pubblicata sul *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* del 2002 segnalano soluzioni di questo tipo proposte nelle chiuse per pesci di Soeix sul fiume Gave d'Aspe e della diga Malause sul fiume Garonne; gli stessi autori inoltre stimano per questo sistema di monitoraggio un prezzo compreso tra i 5.000 ed i 10.000 € che in realtà, aumentando il livello tecnologico può anche arrivare ai 50.000 €.

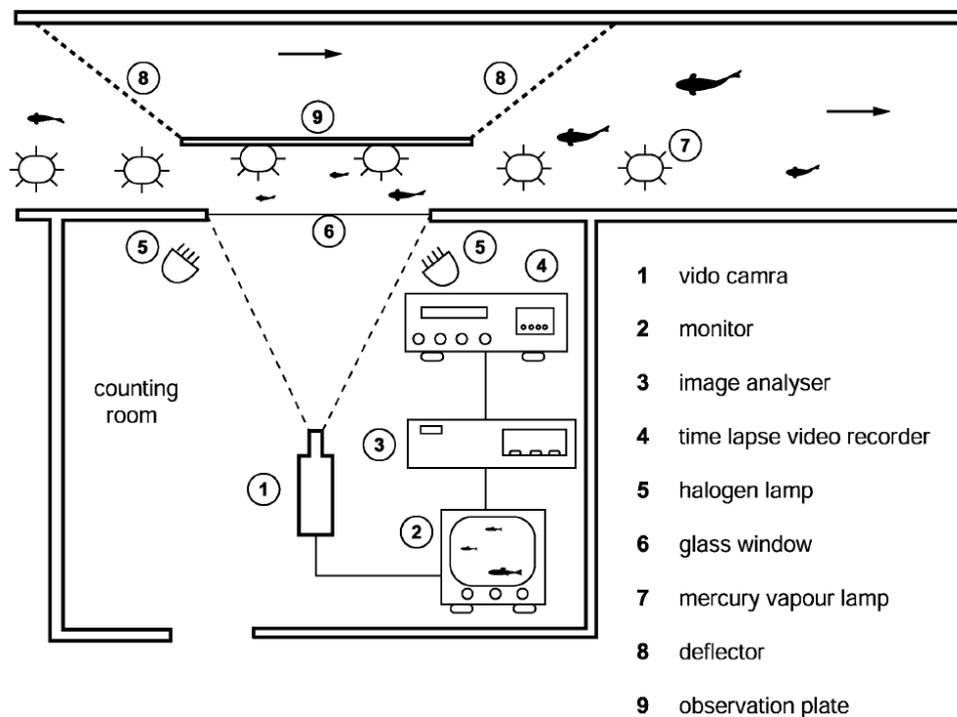


Fig.8-18: Schema planimetrico di un sistema per ispezione visiva in automatico mediante registrazione video (da Travade e Larinier, 2002)

- per quanto riguarda il conteggio dei pesci entrata nella camera di valle, non essendo possibile imbastire un sistema analogo al precedente vista la mancanza di un ambiente adatto adiacente alla camera, si ritiene sensato utilizzare un contatore elettronico automatico. Questa soluzione, il cui schema è riportato in figura seguente (Fig.8-19), si basa sul fatto che i pesci possiedono una conducibilità elettrica inferiore rispetto all'acqua; pertanto, il loro passaggio attraverso una serie di elettrodi ne fa variare la resistenza. Misurando quest'ultima in continuo è dunque possibile contare i pesci entranti e, solo mediante accurata taratura, ricavare informazioni relative alle dimensioni sulla base delle quali si possono solo fare ipotesi sulla specie. Anche nel caso in esame è bene evitare la possibilità di arretramento dei pesci ed inoltre, anche al fine di non dover inserire un tubo nella camera, si ritiene opportuno posizionare gli elettrodi sul tratto dello stramazzo in parete grossa. In questo caso, a differenza della soluzione adottata per la camera di monte, la manutenzione deve essere svolta da personale qualificato, almeno una volta a settimana; in particolare questa deve essere strettamente correlata al monitoraggio del trasporto solido che è la principale causa di danneggiamento. Al di fuori di questo si tratta di una soluzione che non necessita di interventi umani ed il cui costo si aggira sugli 8.000 €.

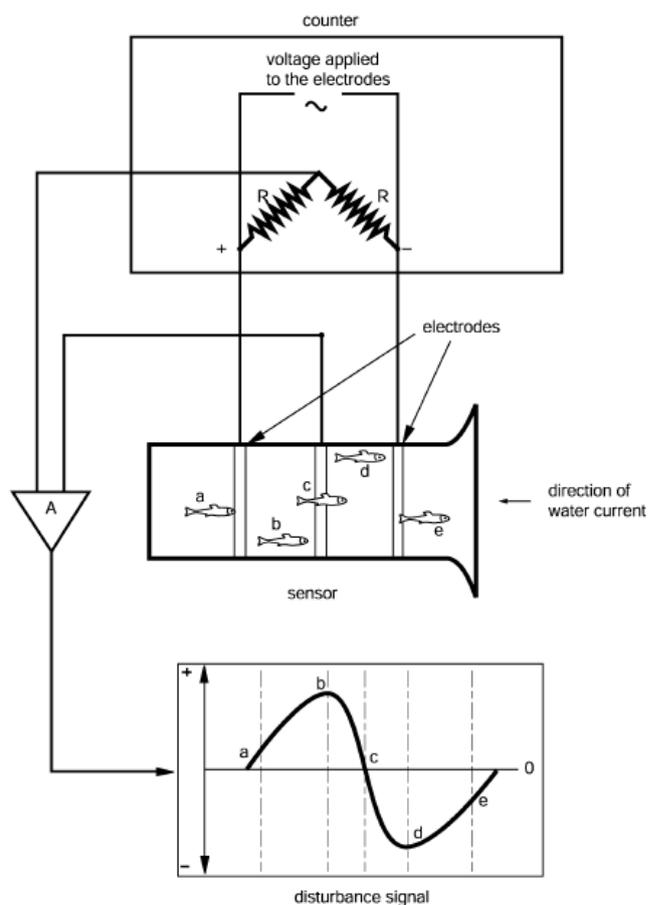


Fig.8-19: Schema di funzionamento del contatore elettronico automatico (da Travade e Larinier, 2002)

Si nota che i prezzi relativi a questi sistemi di monitoraggio sono tutt'altro che trascurabili; tuttavia sempre giustificabile qualora fossero necessari per la verifica di funzionalità del passaggio che, come ribadito più volte, è un'operazione non meno importante di un dimensionamento corretto.

Come si accennava ad inizio paragrafo, sebbene non ritenuti ottimali in questo caso, la chiusa rende possibile anche il monitoraggio biologico mediante marcatura e/o radio-tracking il cui principio di funzionamento è sostanzialmente lo stesso e si articola nei seguenti punti:

- cattura del pesce;
- installazione di un dispositivo di riconoscimento sul o nel pesce. La marcatura prevede l'applicazione di un elastomero liquido (Fig.8-20(a)) o di un *pit-tag* (Fig.8-20(b)), ossia un trasmettitore elettronico passivo composto da un chip ed un avvolgimento elicoidale, avente una memoria non volatile contenente un codice unico alfanumerico che permette di identificare in modo univoco l'esemplare. Il radio tracking invece prevede l'installazione di una trasmittente radio con una specifica frequenza identificativa dell'esemplare;
- rilascio del pesce;
- riconoscimento dell'esemplare. Questo può avvenire solamente per ricattura nel caso di marcatura con elastomero, mentre il passaggio di un pesce con *pit tag* può essere segnalato posizionando antenne sulla sezione. Il radio tracking (Fig.8-21) consente invece di monitorare, entro un range che può essere chilometrico a seconda della dimensione della trasmittente, gli interi spostamenti del pesce.

è chiaro che tutte queste soluzioni sono praticabili nel caso della chiusa che per definizione consente facilmente di intrappolare e quindi marcare i pesci; tuttavia tutti richiedono un grande sforzo in termini di lavoro umano ed inoltre sono forte causa di stress per i pesci.
Per queste ragioni si ritiene ampiamente conveniente utilizzare le tecniche di conteggio.

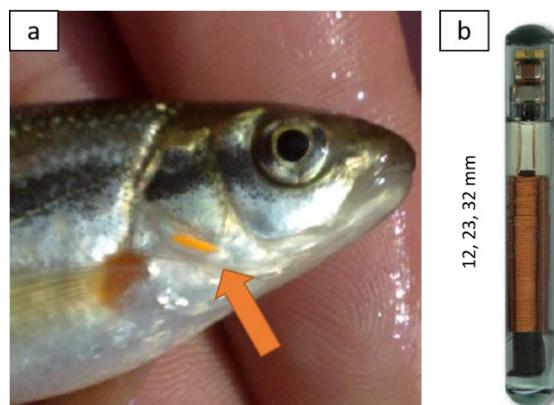


Fig.8-20: Sistemi di marcatura: elastomero (a) e pit-tag (b) (da Regione Piemonte, 2011)



Fig.8-21: Tipi differenti di tag identificativi (radio, acustico, Pit) (da <http://deltacouncil.ca.gov/science-news/archives/2010-06-fish-tagging.php>).

8.4.3. Manutenzione del passaggio.

Dopo aver sviluppato il piano di monitoraggio è possibile e necessario realizzare anche il piano di manutenzione del passaggio che risulta essere un componente fondamentale, al pari del monitoraggio e del dimensionamento, del progetto al fine di garantire il ripristino della continuità fluviale e soprattutto il mantenimento di questa condizione.

Come anche accennato nel capitolo precedente le chiuse per pesci, come tutti i passaggi speciali, a causa del loro funzionamento discontinuo e del maggior numero di componenti quali le camere, la condotta, gli organi mobili e quelli di monitoraggio, risultano particolarmente sensibili al trasporto solido.

Il trasporto solido infatti, oltre a ostruire e/o danneggiare i vari componenti, nella sua frazione più fine è tale da annullare, la già esigua presenza, di eventuale fauna bentonica presente nel passaggio.

Per tali ragioni è ovvio che questi manufatti richiedono una manutenzione ordinaria molto più onerosa rispetto ai passaggi “tradizionali”.

Per quanto riguarda invece la manutenzione straordinaria conseguente alle piene, in base a quanto visto nel paragrafo 8.4, le scelte progettuali riguardanti il posizionamento e tipologia di passaggio sono state svolte in maniera da minimizzarne al massimo gli effetti; è infatti possibile controllare i vari organi

mobili in maniera da evitare l'interazione tra il passaggio e la piena che, anche nel peggiore dei casi si troverebbe comunque di fronte ad un manufatto monolitico ed strutturalmente molto stabile.

È inoltre necessario ricordare nuovamente la stretta correlazione che intercorre tra il piano di manutenzione e quello precedentemente descritto di monitoraggio per la quale:

- alcuni dei manufatti realizzati per il monitoraggio, come ad esempio le finestre di osservazione, possano anche essere utilizzati al fine di organizzare meglio la manutenzione;
- i risultati del monitoraggio idrologico, specie quelli di portata e di trasporto solido, sono importanti per impostare la manutenzione sia ordinaria che straordinaria;
- la manutenzione deve essere volta anche ai dispositivi di monitoraggio al fine di garantirne sempre la massima efficienza che è fondamentale per il funzionamento del passaggio. In base alle scelte fatte in precedenza si ricorda che è bene prevedere ispezioni giornaliere del sistema di conteggio sulla camera di monte per la pulizia delle finestre e la verifica dell'illuminazione e registrazione; mentre ispezioni settimanali su quello della camera di valle per controllare lo stato degli elettrodi.

8.4.4. Stima dei costi dell'intervento.

Per quanto riguarda la stima dei costi di una chiusa per pesci, questa risulta particolarmente incerta in quanto purtroppo sono scarse le informazioni pubblicate ed è spesso complesso scindere tali costi da quelli dello sbarramento essendo queste opere sovente realizzate in contemporanea con esso.

Il problema è stato affrontato da Clay nel testo “*Design of fishways and other fish facilities*” del 1995 secondo cui possibile affermare che per salti inferiori ai 20 m, i costi delle chiuse e degli ascensori sono sostanzialmente gli stessi; stessa considerazione vale anche per altezze superiori qualora entrambe le opere fossero realizzate esternamente allo sbarramento.

Pertanto risultano interessanti per il caso in esame anche gli studi statistici svolti da Travade & Larinier nell'articolo “*Fish locks and fish lifts*” pubblicata sul *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* del 2002 e relativi al costo degli ascensori per pesci; da questi risulta che il costo dei passaggi speciali sia pari a:

$$C = \begin{cases} 15.000 \div 75.000 \text{ € per trote} \\ 50.000 \div 125.000 \text{ € per salmoni} \end{cases}$$

Gli autori specificano che a questi costi, relativi all'ascensore propriamente detto, vanno aggiunti quelli del lavoro di ingegneria civile richiesto per l'installazione, sia essa interna o esterna allo sbarramento, e delle opere necessarie per l'assunzione di acqua, e per la dissipazione e iniezione del flusso di attrazione nella struttura.

Questi costi possono variare notevolmente da una installazione ad un'altra ma sicuramente nel caso di chiuse che, come quella in esame, sono prive di un trasporto passivo dei pesci, essi risulteranno essere quasi la totalità della spesa.

Infatti nel caso in esame, considerando che l'altezza dell'ostacolo risulta pari al limite minimo generalmente riscontrato nell'utilizzo pratico di queste soluzioni e che esso è relativo alle trote, gli studi statistici suggerirebbero un costo di circa 15.000 euro.

Intuitivamente tale valore risulta sicuramente non sufficiente alla realizzazione della fish lock progettata nella quale infatti, saranno proprio i costi relativi ai lavori di ingegneria ed ai componenti di regolazione, considerati aggiuntivi nello studio statistico di riferimento, ad essere prevalenti.

Una dimostrazione di quanto appena affermato si può avere confrontando il valore suddetto con il costo relativo ai soli componenti in c.a. dell'opera progettata stimato facendo riferimento al prezzario regionale dei lavori pubblici del 2016.

Per fare questo, avendo a che fare sia con componenti monolitici che con setti e solette, si decide di determinare il prezzo unitario a m³ di elemento come media tra quello per le solette in c.a. e quello per i setti in c.a. di spessore superiore a 25 cm (Tab.8.4.4-I).

Si precisa che i costi della manodopera sono già inclusi ed in tabella ne viene indicata la percentuale d'incidenza nella colonna %*man*.

Come si nota in tabella si è fatto riferimento in ambedue le maestranze all'uso di un calcestruzzo C32/40 indicato per la classe di esposizione XC4 - *ambiente ciclicamente bagnato ed asciutto* dell'UNI EN 206-1 che si ritiene descrittiva del caso.

Stimato per l'opera un volume totale di circa 167.51 m³ ne risulta un costo di circa 58.000 €.

Tab.8.4.4-I: Prezzi unitari dei magisteri per la realizzazione del *fish lock* (da Prezzario FVG, 2016).

Magistero	Descrizione	%man	Prezzo unitario [€]
MURATURE IN ELEVAZIONE IN CALCESTRUZZO ARMATO - C32/40 Rck40-XC3-XC4-S4 e spessore maggiore di 25 cm	<i>Esecuzione di getto in opera di calcestruzzo armato durabile a resistenza garantita per murature in elevazione, confezionato con cemento CEM I 32,5 o 42,5, inerti di adeguata granulometria con dimensioni max fino a 31,5 mm, classe di esposizione e classe di consistenza come da indicazioni di progetto, eventuale aggiunta di additivi e ogni onere, comprese casserature di contenimento di qualsiasi forma e in qualsiasi posizione e quota, puntellazioni, ponteggi di servizio, armo e disarmo, uso del vibratore meccanico, uso della pompa, disarmante, fori o lesene per passaggio impianti, bagnatura, con la sola esclusione del ferro d'armatura compensato a parte.</i>	21,00	341,52 al m ³
SOLETTE IN CALCESTRUZZO ARMATO - C32/40 Rck40-XC3-XC4-S4	<i>Esecuzione di getto in opera di calcestruzzo armato durabile a resistenza garantita, per solette monolitiche, confezionato con cemento CEM I 32,5 o 42,5, inerti di adeguata granulometria con dimensioni max. fino a 31,5 mm, classe di esposizione e classe di consistenza come da indicazioni di progetto, eventuale aggiunta di additivi e ogni onere, comprese casserature di contenimento di qualsiasi forma e in qualsiasi posizione e quota, puntellazioni, ponteggi di servizio, armo e disarmo, uso del vibratore meccanico, uso della pompa, disarmante, fori o lesene per passaggio impianti, bagnatura, con la sola esclusione del ferro d'armatura compensato a parte.</i>	25,27	350,52 al m ³
MEDIA			346,02 al m ³

Chiaramente i costi aumentano ulteriormente la loro variabilità considerando quelli delle opere necessarie per l'assunzione di acqua, per la dissipazione e iniezione del flusso di attrazione nella struttura nonché quelle per la manutenzione ed il monitoraggio discusse nel paragrafo precedente.

Ad esempio la sola paratoia a stramazzo comporta un incremento di circa 16.200 € mentre valori leggermente inferiori si possono considerare per gli altri organi mobili presenti.

Tutto ciò lascia supporre che l'opera supererà abbondantemente la stima statistica riportata ad inizio paragrafo.

Analogamente il calcolo attraverso la somma dei costi dei vari componenti sarebbe altrettanto a sfavore di cautela in quanto non consente di valutare con esattezza le complicità operative che sorgono dovendo svolgere l'integrazione, nell'alveo dell'asta principale del bacino, tra due manufatti di grandi dimensioni quali la chiusa e l'impianto idroelettrico già in funzione.

Pertanto, al fine di fornire una stima indicativa dei costi più verosimile, è stata calcolata la spesa media per metro lineare d'altezza necessaria per la realizzazione di 4 chiuse per pesci realizzate dall'azienda *SunWater* nei fiumi del Queensland tra il 1994 ed il 2000 che, utilizzando l'attuale rapporto euro/dollaro, risulta essere di circa 109.000 €/m.

Assumendo come altezza della chiusa il dislivello coperto dalla condotta, pari a 4.8 m, il costo totale stimato risulta pari a $C = 523.200$ €.

8.5. Progetto del passaggio per pesci nella sezione 495.

Per quanto riguarda l'inquadramento geografico della sezione si rimanda al paragrafo 6.5.1.2 del presente elaborato.

Come già ripetuto più volte l'opera di derivazione è essenzialmente analoga a quella della sezione precedente e pertanto possono considerarsi valide tutte le osservazioni fatte nel paragrafo precedente tra le quali soprattutto quelle relative alle portate di rilascio attraverso lo sbarramento che anche in questo caso viene ridotta alla sola Q_d .

Nuovamente si riportano nel diagramma seguente le curve di durata delle portate disponibili/sfruttabili dall'impianto idroelettrico (Fig.8-22); come si nota dalla figura, la riduzione del rilascio assicura un aumento di 10 giorni nel funzionamento dell'impianto.

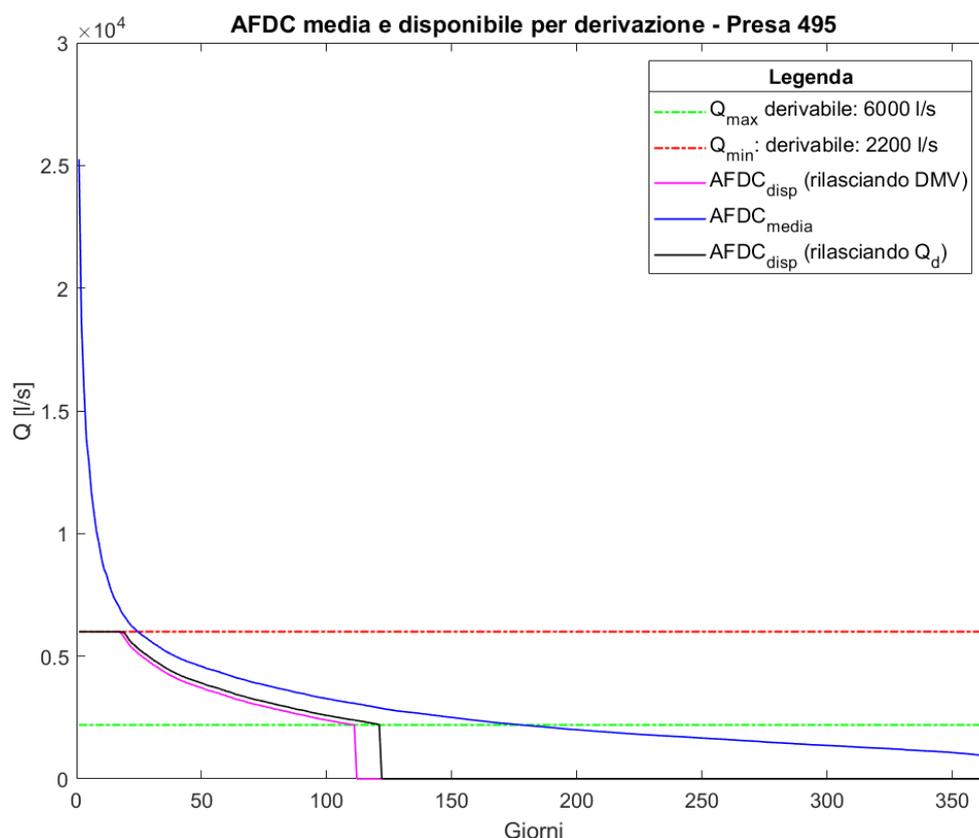


Fig.8-22: Curve medie di durata delle portate e delle portate disponibili per la derivazione idroelettrica con rilascio della Q_{DMV} e della Q_d – presa 495 per similitudine idrologica da Thörl (1975 ÷ 2010).

Per quanto riguarda l'opera di sbarramento, sempre con riferimento alla rappresentazione schematica riportata in precedenza nel capitolo, se ne riassumono in tabella le caratteristiche principali (Tab.8.5-I) Si aggiunge che l'opera è ancora in perfette condizioni in quanto priva di danneggiamenti evidenti e di segni di degrado.

Tab.8.5-I: Caratteristiche della briglia 495.

Sezione		495
Anno costruzione		1970
Interrimento		Completo
Materiale		c.a.
Rivestimento		pietrame
Manufatti accessori		no
Paramento di monte		verticale
Paramento di valle		verticale
$l_{ala,dx}$ [m]	lunghezza ala dx	2
$l_{imm,dx}$ [m]	immorsamento ala dx	0
$l_{ala,sx}$ [m]	lunghezza ala sx	14
$l_{imm,sx}$ [m]	immorsamento ala sx	0
m_{ala} [%]	pendenza ali	0
V [m ³]	capacità invaso	0
H [m]	altezza corpo	5.7
s [m]	spessore corpo	1.6
s_b [m]	sbalzo gaveta	0.1
H_1 [m]	altezza gaveta inferiore	1.5
b_1 [m]	larghezza gaveta inferiore	27
m_1	pendenza gaveta inferiore	1
H_2 [m]	altezza gaveta superiore	0.5
b_2 [m]	larghezza gaveta superiore	33
m_2	pendenza gaveta superiore	1

Come si nota dalla tabella, l'unica differenza con la briglia precedente riguarda l'altezza che è in questo caso più elevata di 40 cm.

Sostanzialmente analoghe sono anche le problematiche progettuali riscontrate dove però, sempre rispetto al caso precedente, si elencano le seguenti differenze:

- la parete rocciosa in sponda destra conserva le stesse caratteristiche già descritte ma in questo caso non vi è alcuna sporgenza a valle dello sbarramento;
- il torrente presenta forte carattere deposizionale in sponda destra, sia a monte che a valle con materiale anche fine, il che, in aggiunta alla presenza della presa in sponda opposta, renderebbe assai complesso il corretto funzionamento del passaggio in quella sponda; posizionamento;
- in destra idrografica, tra i manufatti di derivazione e la statale, si segnala anche la presenza di un metanodotto che costeggia la statale.

Quindi anche dal punto di vista della scelta tipologica, vista la somiglianza tra le due derivazioni, possono considerarsi validi tutti i ragionamenti svolti nel paragrafo precedente. Unica differenza sostanziale sta nel fatto che, l'ostacolo principale alla realizzazione di passaggi tecnici e speciali in sponda sinistra stavolta non è la sporgenza della parete rocciosa, bensì la morfologia del corso d'acqua. È stato infatti osservato che, il comportamento deposizionale, i detriti provenienti dalla parete e la presa su sponda opposta rendono difficile la realizzazione di un passaggio con funzionamento continuo in sponda destra (Fig.8-23).



Fig.8-23: Presa 495 vista da monte.

Si conclude quindi che, anche per l'ittiocompatibilizzazione per lo sbarramento in sezione 495, la soluzione ottimale è quella di una chiusa per pesci in sponda sinistra che strutti i manufatti dell'opera di derivazione; una planimetria indicativa dell'intervento viene di seguito riportata (Fig.8-24)

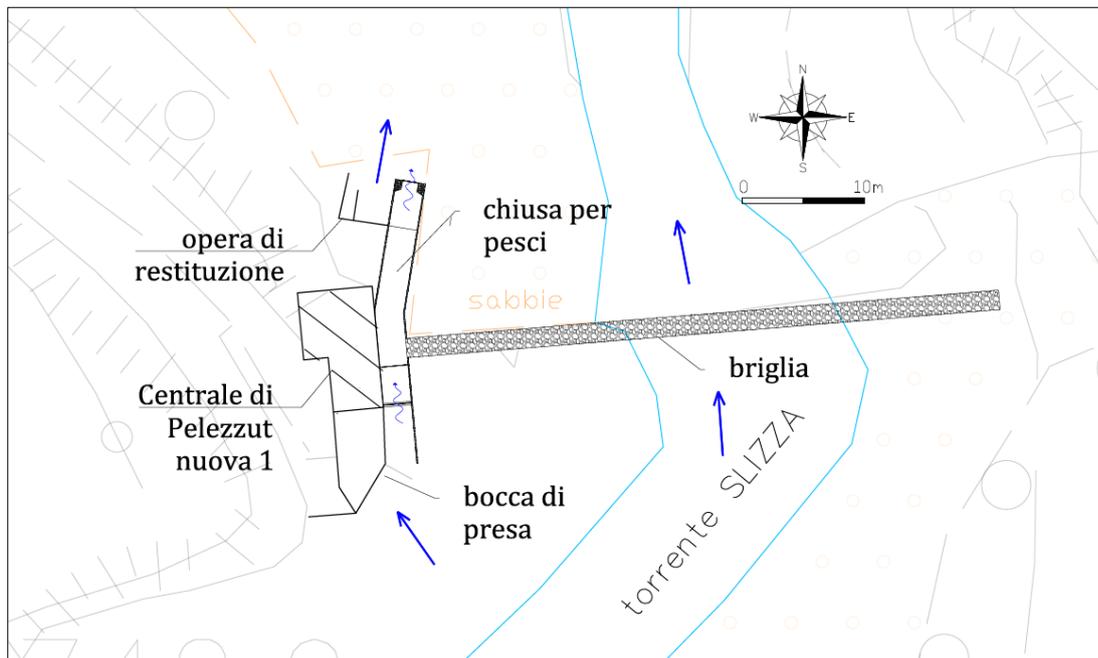


Fig.8-24: Planimetria dell'area di intervento per ittio-compatibilizzare briglia 495.

8.5.1. Dimensionamento della chiusa per pesci.

Come appena visto, la sostanziale identità dei manufatti di questa derivazione e di quella precedente e la copresenza di problematiche simili, sebbene di diversa causa, ha portato a selezionare per entrambi gli sbarramenti la medesima soluzione di ittiocompatibilizzazione.

Considerata anche la loro vicinanza che implica portate di progetto pressoché identiche è evidente che possono essere ereditati e considerati validi tutti i ragionamenti ed in larga parte anche i dimensionamenti svolti nel progetto di paragrafo 8.4.1.

Infatti, si nota che l'unica differenza tra i due progetti consiste nella diversa posizione dell'opera di restituzione rispetto allo sbarramento che quindi provoca esclusivamente una modifica nello sviluppo planimetrico e altimetrico e quindi di dimensione della condotta di chiusa

Riassumendo, senza ripetere osservazioni già svolte, è sufficiente affermare che la chiusa sarà progettata come segue:

- si mantengono le stesse dimensioni delle camere di monte/valle progettate per la chiusa precedente;
- si mantengono gli stessi organi mobili e fissi di deflusso, ossia le paratoie e gli stramazzi, progettati per la sezione precedente;
- si mantengono con le medesime dimensioni selezionate per la precedente chiusa tutti gli altri elementi fondamentali per il corretto funzionamento della stessa quali il foro-bypass, la griglia metallica di intrappolamento e le finestre di osservazione;
- la diversa disposizione altimetrica e planimetrica degli elementi suddetti comporterà ovviamente una modifica della condotta di chiusa.

Con riferimento alla planimetria riportata (Fig.8-16) alla condotta deve essere assegnata una pendenza $i_f = 52.5 \%$.

Come nella chiusa precedente, al fine di rispettare il vincolo sulla variazione di livello nel passaggio, che si ricorda richiedeva una sezione orizzontale di: $A_0 \geq \frac{Q}{2.5} = 4.8 \text{ m}^2$, e quindi ad un'altezza della sezione rettangolare pari a 1.09 m che si soddisfa utilizzando uno scatolare di 1.2 m.

I risultati del dimensionamento sono riassunti in tabella e figure seguenti (Tab.8.5.1-I, Fig.8-26 e Fig.8-27).

Tab.8.5.1-I: Dimensionamento della chiusa per pesci – Sezione 495

Camera di monte [mxm]		2.3x3
Camera di valle [mxm]		2.3x3
Condotta di chiusa	A [mxm]	2.3x1.2
	i_f [%]	52.5
Foro di bypass [mm]		100
Stramazzo in parete grossa	L [m]	0.75
	b [m]	1.3
	p [m]	1.46
Organi di regolazione	paratoia monte [mmxmm]	1500x1500
	paratoia valle [mmxmm]	1000x650
	griglia metallica [mmxmm]	2300x1600

8.5.2. Monitoraggio, manutenzione e stima dei costi dell'intervento.

Per quanto riguarda il monitoraggio, la manutenzione e la stima dei costi di intervento si possono considerare valide tutte le osservazioni svolte su tali argomenti per la precedente chiusa progettata.

Nuovamente si ritiene poco realistico l'ordine di grandezza fornito in letteratura di circa 15000 euro che può essere dimostrato stimando nuovamente il costo necessario per i soli elementi in c.a. che risulta pari a:

$$C = 346,02 V_{tot} = 346,02 \cdot 74,02 = 25.612 \text{ €}$$

Il valore è molto inferiore rispetto al caso precedente a causa del minore sviluppo planimetrico dell'opera che riduce le dimensioni del getto monolitico su cui poggia la condotta di chiusa; tuttavia la maggiore altezza comporterà inevitabilmente prezzi comunque elevati.

Infatti, come per il precedente caso, una stima indicativa dei costi della chiusa viene determinata a partire dai costi delle chiuse realizzate nel Queensland; assumendo sempre come altezza della chiusa il dislivello coperto dalla condotta che è pari a 5.04 m, si ottiene:

$$C = 109.000 \cdot 5,04 = 549.360 \text{ €}$$

Come ci si aspettava, essendo tale stima basata solo sull'altezza della chiusa, il costo per ittio-compatibilizzare questo sbarramento risulta superiore al precedente.

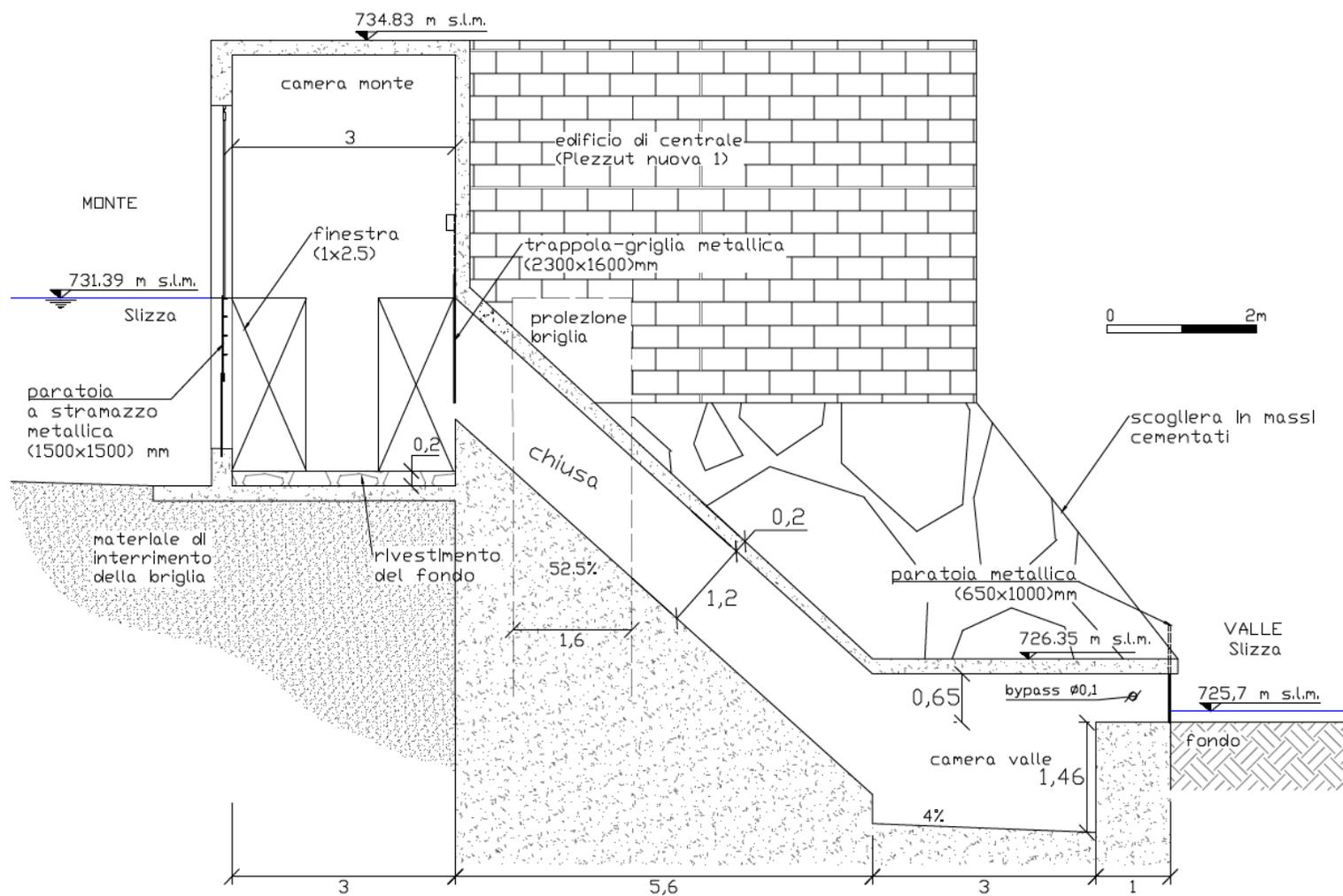


Fig.8-26: Sezione orizzontale della chiusa per pesci sulla derivazione 495– quote in metri salvo specificato.

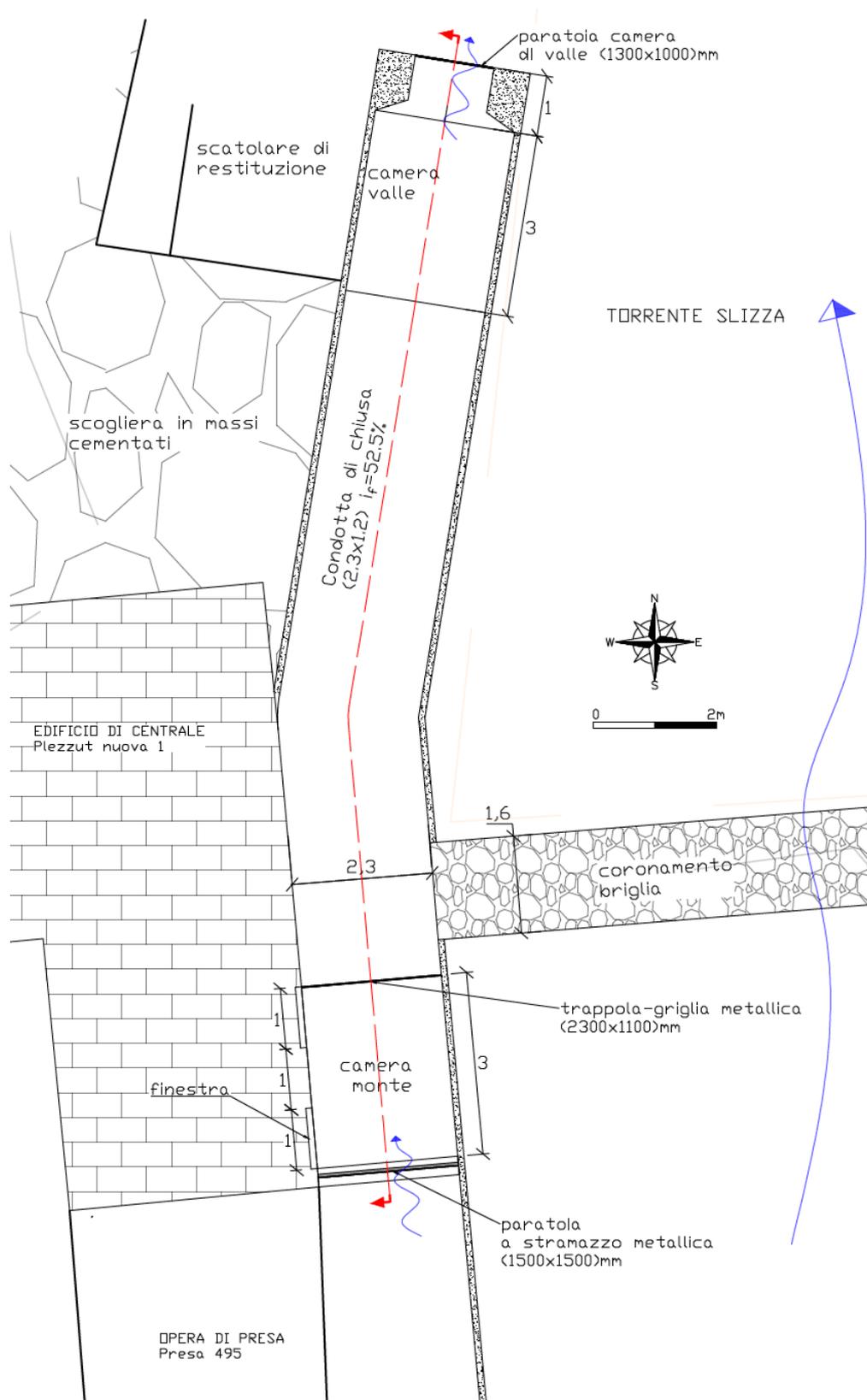


Fig.8-27: Sezione verticale della chiusa per pesci sulla derivazione 495.

8.6. Progetto del passaggio per pesci nella sezione 921.

Per quanto riguarda l'inquadramento geografico della sezione si rimanda al paragrafo 6.5.1.3 del presente elaborato.

Vale la pena sottolineare di nuovo che, a differenza delle precedenti derivazioni, quella in esame in questo paragrafo non sorge in corrispondenza di una briglia chiusa in fase stazionaria con sporgenza elevata ma bensì sfrutta la lunghezza del tratto sotteso a valle dello sbarramento; pertanto si ricorda come in casi del genere il PRTA stesso, presentando adeguata motivazione, prevede un eventuale aumento della portata di DMV.

Tale opzione, ricordando quanto scritto nel paragrafo finale del capitolo 6, sembrava incentivata dalla differenza sostanziale del valore assunto rispetto a quello calcolato col metodo Svizzero; tuttavia le caratteristiche idrologiche-idrogeologiche dell'area hanno portato a escludere la dispersione lungo il tratto del DMV del quale quindi si mantiene il valore calcolato.

Ovviamente il tratto dovrà comunque essere oggetto di un maggiore monitoraggio tale da verificare in sito la correttezza dell'assunzione fatta.

Come per le precedenti sezioni si riportano nel diagramma seguente le curve di durata delle portate disponibili/sfruttabili dall'impianto idroelettrico (Fig.8-28) il cui funzionamento, dipende in maniera molto inferiore, rispetto agli altri casi analizzati, dal rilascio del DMV.

Per quanto riguarda l'opera di sbarramento questo è realizzato mediante classica traversa in c.a. larga circa 20 m ed il cui funzionamento viene garantito dal posizionamento di un secondo sbarramento pochi metri a monte. I due sbarramenti si raccordano entrambi in sinistra idrografica con un muro di sponda in c.a., nel quale viene inserita anche la presa e che si sviluppa per 33 m di cui circa 20 a monte degli sbarramenti.

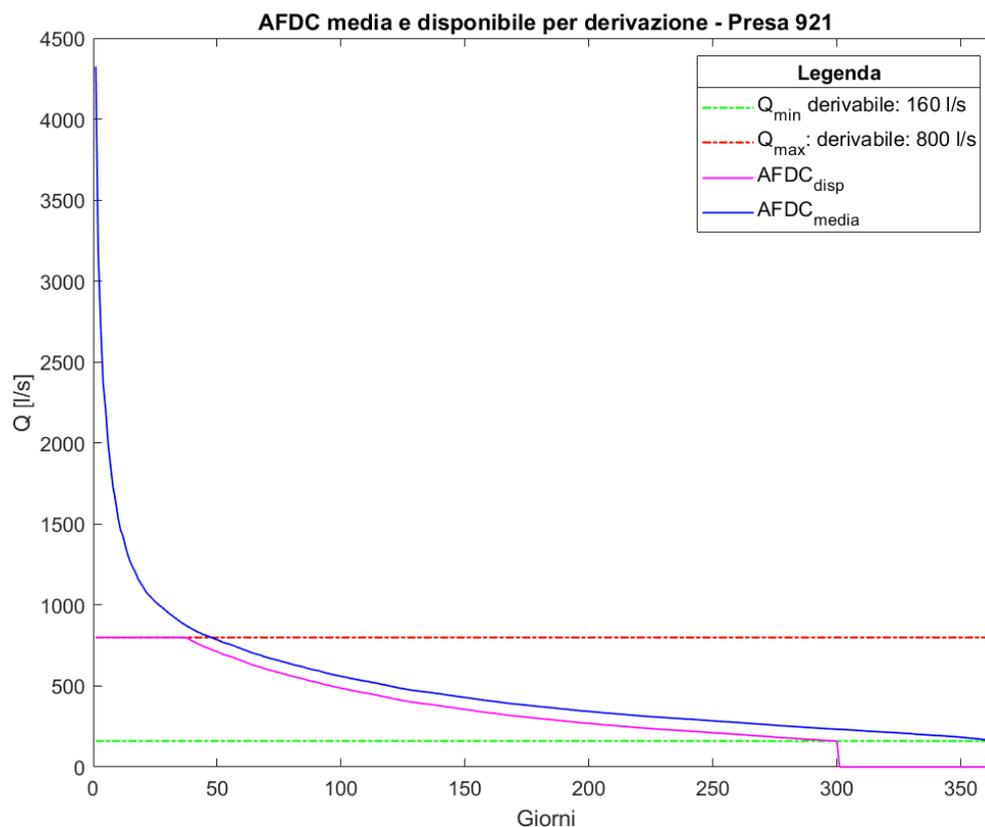


Fig.8-28: Curve medie di durata delle portate e delle portate disponibili per la derivazione idroelettrica con rilascio della Q_{DMV} e della Q_d - Presa 921 per similitudine idrologica da Thörl (1975 ÷ 2010).

Come per i casi precedenti di seguito si elencano alcune considerazioni ritenute fondamentali per la scelta tipologica del passaggio per pesci:

- la derivazione presenta 2 ostacoli tra loro posti ad una distanza di circa 10 m che sono dediti alla presa della portata fluida. L'interruzione di percorribilità è sostanzialmente dovuta allo sbarramento di valle che quindi risulta definire il dislivello da superare;
- oltre alle dimensioni ridotte dell'ostacolo è importante notare l'assenza delle sponde rocciose subverticali che costituivano l'impedimento principale alle soluzioni di aggiramento dell'ostacolo. Tuttavia anche in questo caso si segnalano sponde importanti e soprattutto una fitta boscaglia a ridosso del rio;
- è importante sottolineare che anche in quest'asta si osserva un marcato andamento meandriforme dell'alveo di magra che, in aggiunta l'elevata trasformabilità morfologica dovuta al fondo mobile, rende complessa un'individuazione certa delle sezioni di entrata/uscita del passaggio.

Ovviamente il parametro principale a cui riferirsi per la scelta tipologica è il dislivello da superare; per quanto appena detto, pur essendoci 2 sbarramenti sporgenti la percorribilità viene ostacolata esclusivamente da primo sbarramento (2 m) la cui altezza è al limite per consentire l'utilizzo di soluzioni naturalistiche e di escludere le speciali.

Al fine di individuare la migliore mitigazione si decide di considerare sia una soluzione tecnica che una naturalistica; nei paragrafi seguenti se ne descrivono i progetti per poi svolgerne un confronto.

Ovviamente una grandezza necessaria per il progetto di un passaggio non speciale è la pendenza del fondo a valle della derivazione; la quale può essere desunta a partire dal DTM raster del bacino (descritto nel primo capitolo dell'elaborato), sfruttando il plugin *Profile Tool* in *QGIS*.

Tale soluzione è preferita all'utilizzo della carta delle pendenze essendo quest'ultima ricavata considerando una combinazione delle pendenze lungo direzioni cardinali.

Nel caso in esame si considera il tratto contenente l'opera di derivazione e che si protrae per circa 140 m a valle della stessa ed avente l'andamento planimetrico dell'alveo di magra che è stato desunto da confronto tra cartografia ed immagini satellitari (Fig.8-29).

L'andamento ottenuto è quello riportato in figura (Fig.8-30) dal quale, per interpolazione lineare, si ricava una pendenza media del fondo pari a $i_f = 4\%$ (1:25).

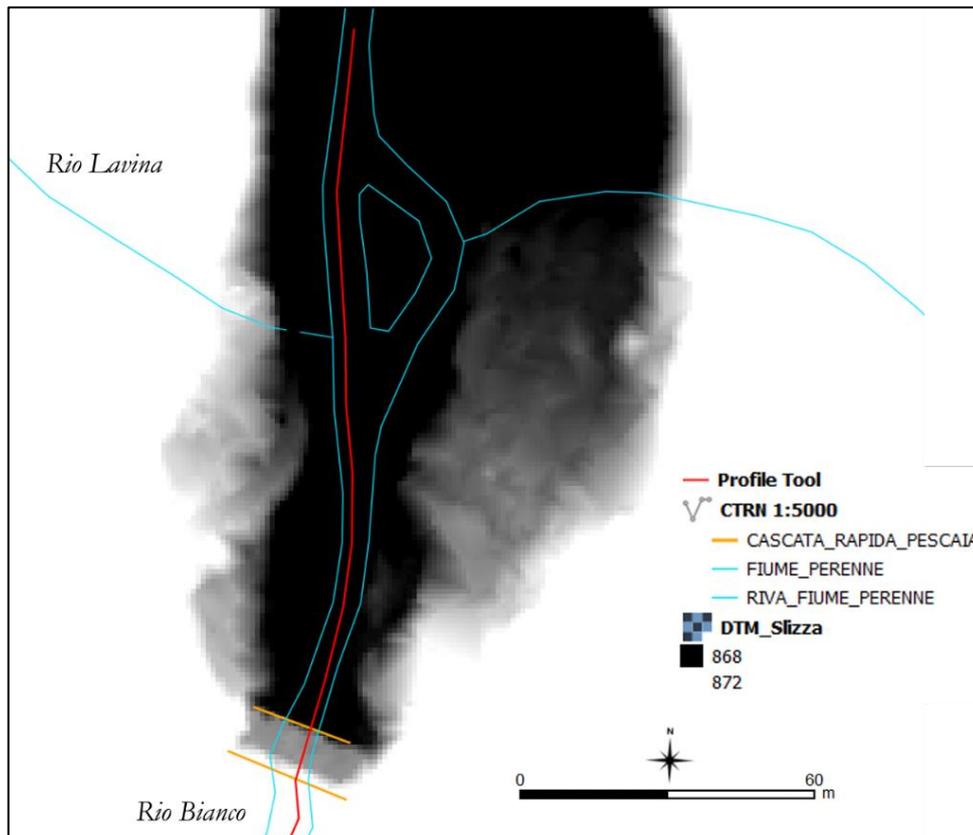


Fig.8-29: Andamento planimetrico del profilo longitudinale del rio Bianco ricavato da DTM.

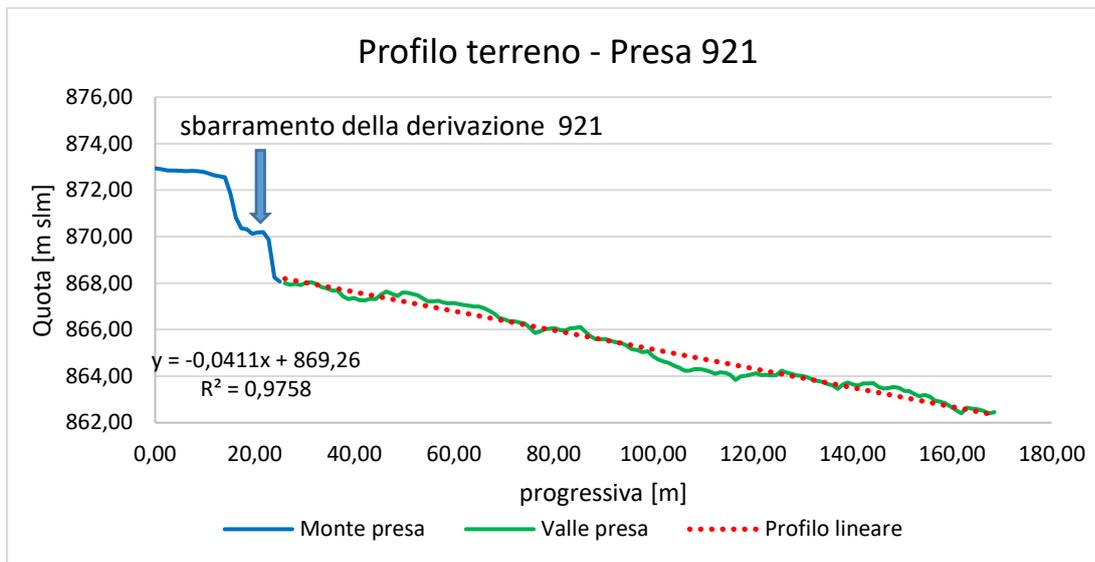


Fig.8-30: Andamento altimetrico del terreno a valle della presa 921 sul rio Bianco.

8.6.1. Progetto del passaggio naturalistico nella sezione 921.

Come visto in precedenza, l'altezza dello sbarramento è tale da non escludere a priori le soluzioni di tipo naturalistico.

Sebbene lo sbarramento di monte sia percorribile, una soluzione che è bene valutare in tale contesto risulta essere il canale by-pass, in quanto ad impatto ambientale praticamente nullo e consente di aggirare automaticamente entrambi gli sbarramenti.

Purtroppo vi sono numerosi impedimenti alla scelta di questa soluzione, in primis vi è la morfologia fluviale che, in base alla descrizione precedente che evidenziava un fondo estremamente mobile ed andamento meandrizzato, rende complessa ed in ogni caso incerta nel tempo la derivazione della portata necessaria; a questa si aggiunge l'andamento orografico circostante l'alveo che, avendo pendenze trasversali elevate (si vedano figure Fig.8-29 e Fig.8-32), porterebbe la soluzione a richiedere un elevato lavoro di scavo.

Inoltre, anche adottando un andamento planimetrico che "tamponasse" tali problematiche come ad esempio sviluppando il bypass verso valle sarebbe in ogni caso richiesto un importante lavoro di disboscamento.

Un'altra soluzione non fattibile risulta essere la *bottom ramp* in quanto, essendo la pendenza massima utilizzabile (5%) poco superiore a quella del fondo del rio Bianco (4%), per superare il dislivello sarebbero richiesti un ingombro longitudinale, quindi volumi e lavori di movimento terra, elevatissimi. L'esclusione di questo caso limita l'utilizzo dei passaggi naturalistici per l'ittiocompatibilizzazione della traversa di valle.

Pertanto l'unica soluzione naturalistica praticabile ed in ogni caso ottimale risulta essere la realizzazione di una *fish ramp* poiché:

- non presenta i problemi del bypass essendo interamente realizzabile in alveo;
- essendo su parziale larghezza dell'alveo, pur avendo stesse pendenze limite delle *bottom ramp*, rende possibili i cambi di verso lungo la rampa che consentono di limitare ingombro longitudinale e di utilizzare una pendenza necessaria per superare l'ostacolo non più necessariamente superiore al 4%;
- pur non occupando l'intero alveo, l'attrattività e l'accesso alla fish ramp si possono considerare certi in quanto, ricordando che non vi è restituzione nelle sue vicinanze, adottando andamento ripiegato, è possibile posizionare l'imbocco nei pressi dello sbarramento e inoltre:

- in condizioni ordinarie, tutta la portata rilasciata, ossia il DMV, transita sul passaggio;
- in condizioni straordinarie, sino ad una certa portata limite Q_{max} il funzionamento della rampa è garantito e pertanto, vista la posizione favorevole dell'imbocco, anche la sua attrattività. Oltre è lecito supporre che la risalita sarebbe in ogni caso naturalmente impedita.
- o a differenza del bypass è dedicata all'ittiocompatibilizzazione esclusivamente dello sbarramento di valle e pertanto richiede il superamento di un dislivello inferiore.

Nel caso in esame si decide di realizzare una *fish ramp* con profilo a soglie in massi ovvero con successione di stramazzi parzialmente rigurgitati e bacini di dissipazione; come già in parte accennato, al fine di garantire la migliore funzionalità e minore ingombro planimetrico lo sviluppo longitudinale sarà inizialmente, per la prima metà da monte verso valle, per poi subire un cambio di verso in corrispondenza del quale sarà posizionato un bacino di inversione e concludersi da valle verso monte.

Ovviamente tale sviluppo richiede la realizzazione di un muro divisorio in c.a. o in pietrame cementato tra il passaggio e la restante porzione d'alveo. L'analisi dell'opera di derivazione esistente e del contesto suggeriscono di sfruttare il muro in c.a. già esistente prolungandolo verso valle in modo che il passaggio costeggi la sponda sinistra del rio Bianco in modo da ridurre l'impatto visivo e limitare esposizione nei fenomeni di piena; per una migliore comprensione si riporta uno schema della tipologia di passaggio che si desidera costruire (Fig.8-30) e la planimetria dell'ipotesi di soluzione appena formulata (Fig.8-31).

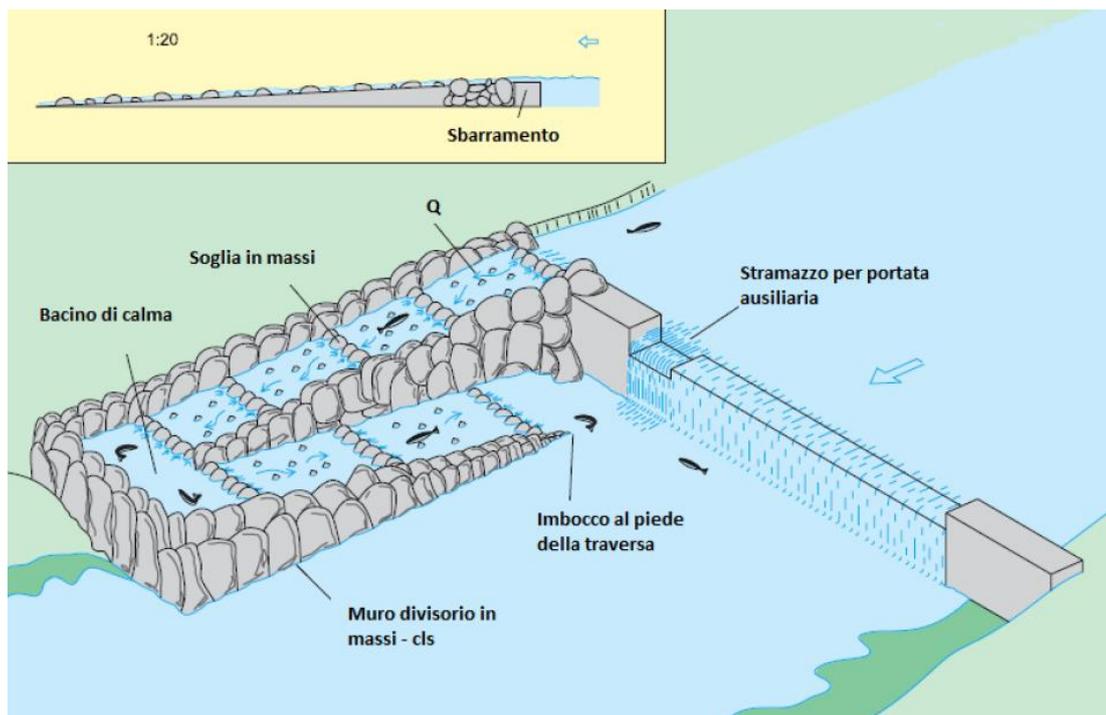


Fig.8-30: Rappresentazione schematica della tipologia di fish ramp che si desidera realizzare sulla sezione 921

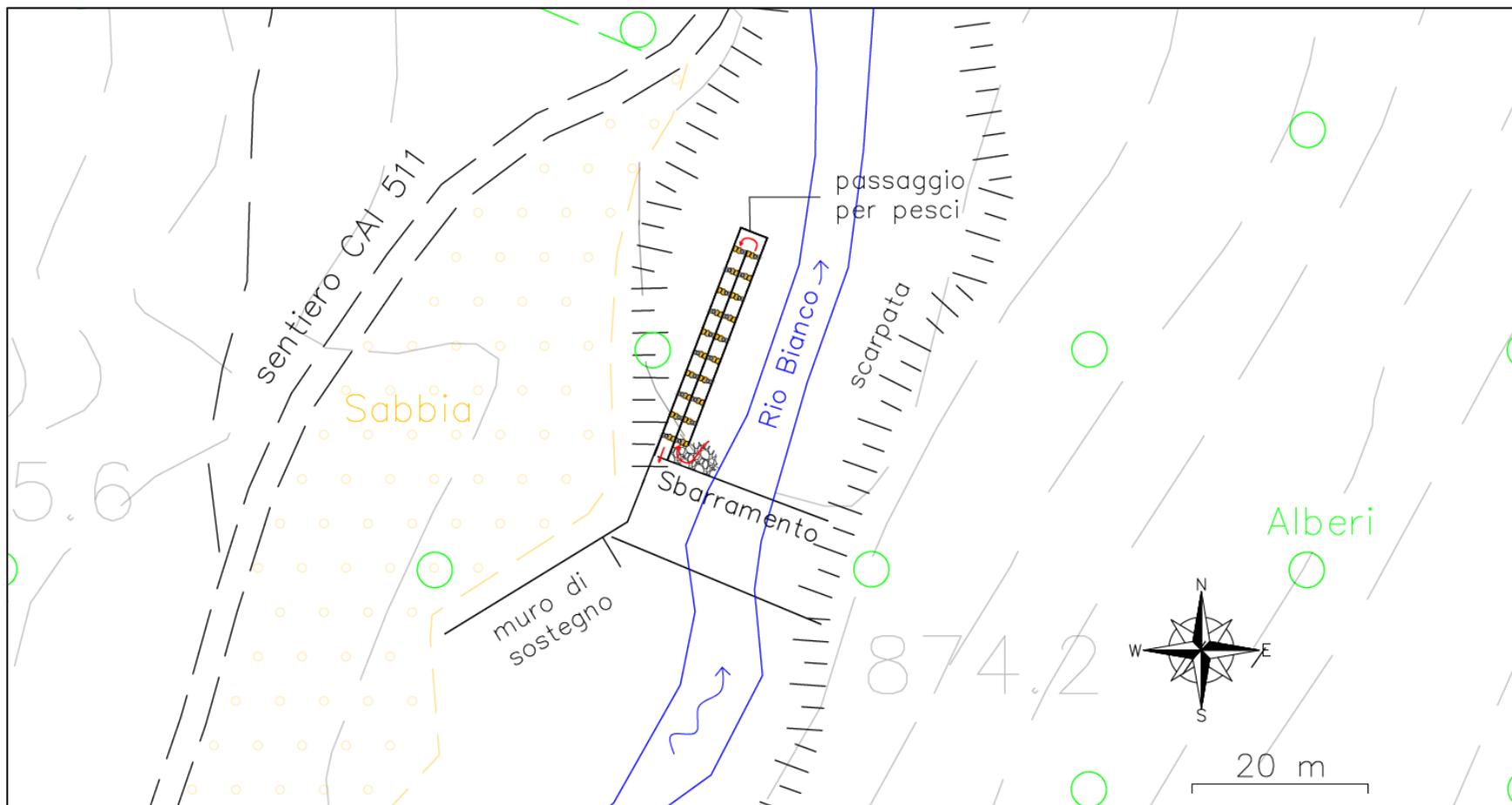


Fig.8-31: Sviluppo planimetrico ipotizzato per i passaggi per pesci – Presa 921

8.6.1.1. Dimensionamento della fish ramp.

Di seguito si procede ad illustrare le fasi di progetto, i paragrafi teorici di riferimento per le relazioni, i vincoli ed i simboli utilizzati sono 7.5.1.1, 7.5.1.3 e soprattutto 7.5.1.4.2.

Gli unici dati di progetto risultano essere il salto totale e la portata di progetto che, essendo pari ad un valore del DMV mediamente garantito in tutto l'anno, sarà anche la portata minima fluente nel passaggio e che quindi esclude il non funzionamento per mancanza di portata:

$$h_{tot} = 2 \text{ m} \quad Q_d = Q_{DMV} = Q_{min} = 73.54 \text{ l/s} \cong 80 \text{ l/s}$$

I vincoli che si desidera rispettare sono i seguenti:

- livello nei bacini, variabile linearmente, deve essere $h = 0.3 \div 0.5 \text{ m}$;
- dislivello tra i bacini successivi: $\Delta h \leq 0.1 \div 0.2 \text{ m}$;
- interasse tra i *boulders*: $l_b \leq 2.5 \text{ m}$;

Nel rispetto di tali vincoli si decide di realizzare il passaggio assumendo: $\Delta h = 0.1 \text{ m}$ e $l_b = 2.5 \text{ m}$; in tal modo si ottiene l'andamento riportato in figura seguente (Fig.8-32) da cui:

- pendenza del fondo del passaggio: $I = \Delta h / l_b = 1 : 25 = 4\%$.
In questo modo essa è uguale a quella del fondo naturale dell'alveo e quindi sicuramente fruibile da parte di tutte le comunità biologiche lì presenti (assicurando quindi la funzione di corridoio ecologico);
- il livello medio dell'acqua nel bacino: $h_m = (h_{max} + h_{min}) / 2 = 0.35 \text{ m}$
- saranno necessari 21 bacini e 20 soglie e quindi un ingombro longitudinale che, al netto del muro divisorio per il quale si adotta uno spessore di 10 cm, di 27.4 m.

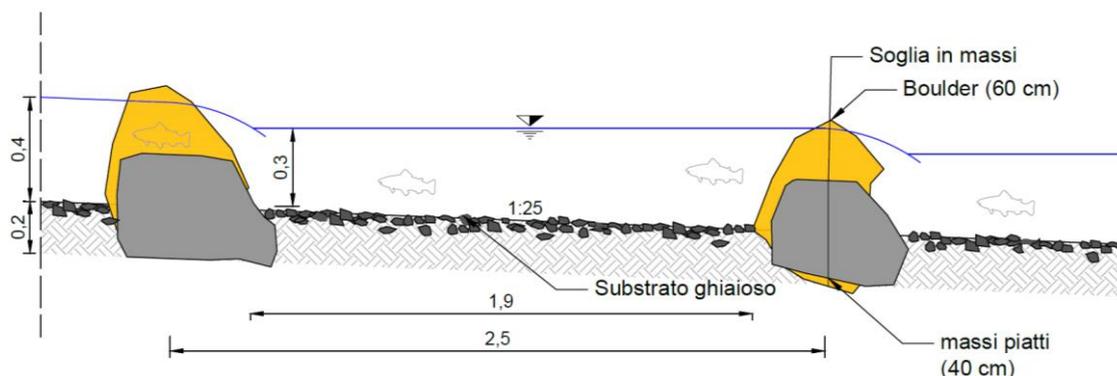


Fig.8-32: Sezione longitudinale (seguendo il filone principale) di un bacino della *fish ramp* (quote in metri).

Di seguito, per una migliore comprensione dell'iter e delle scelte progettuali svolte, si riportano nelle figure seguenti (Fig.8-33 e Fig.8-34) la planimetria e due sezioni della *fish ramp*.

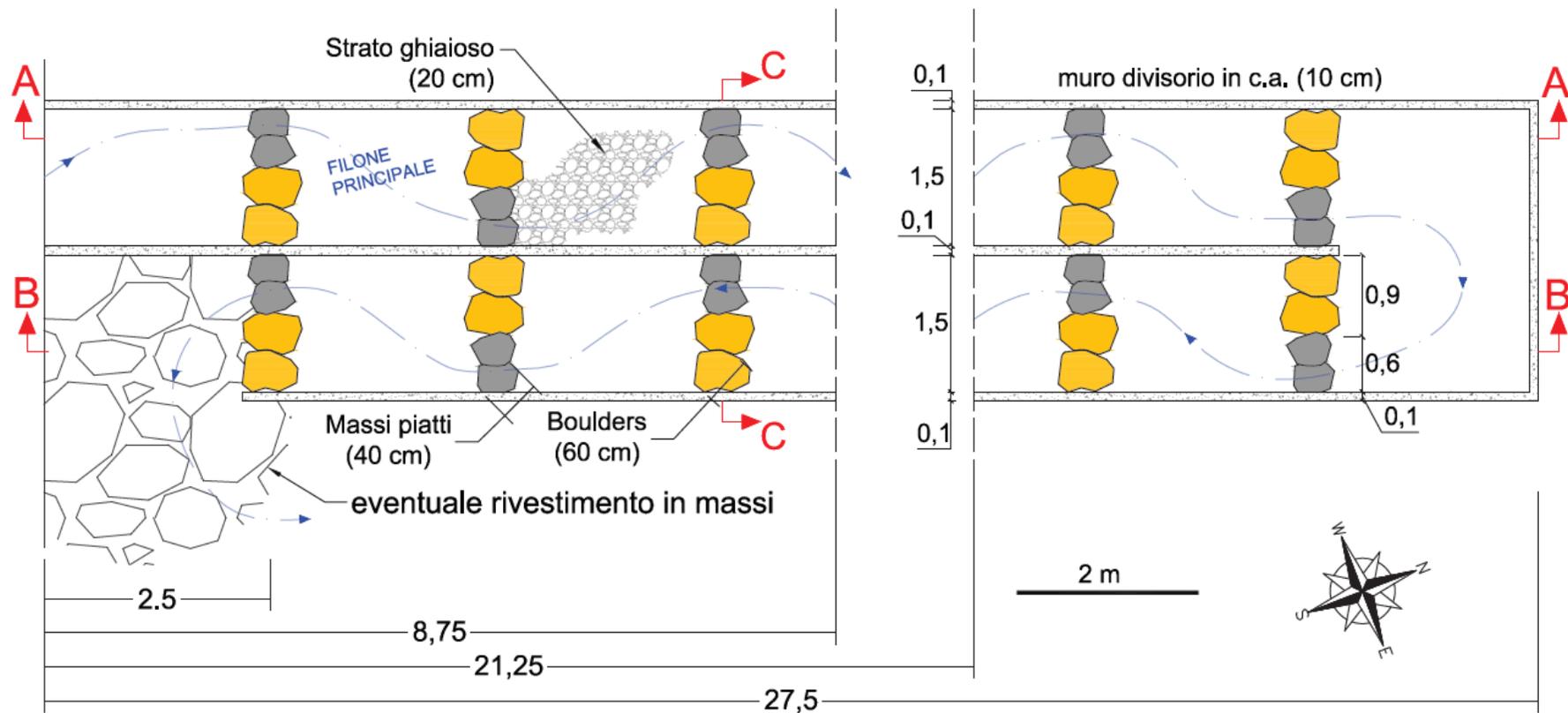


Fig.8-33: Planimetria della fish ramp – quote in metri.

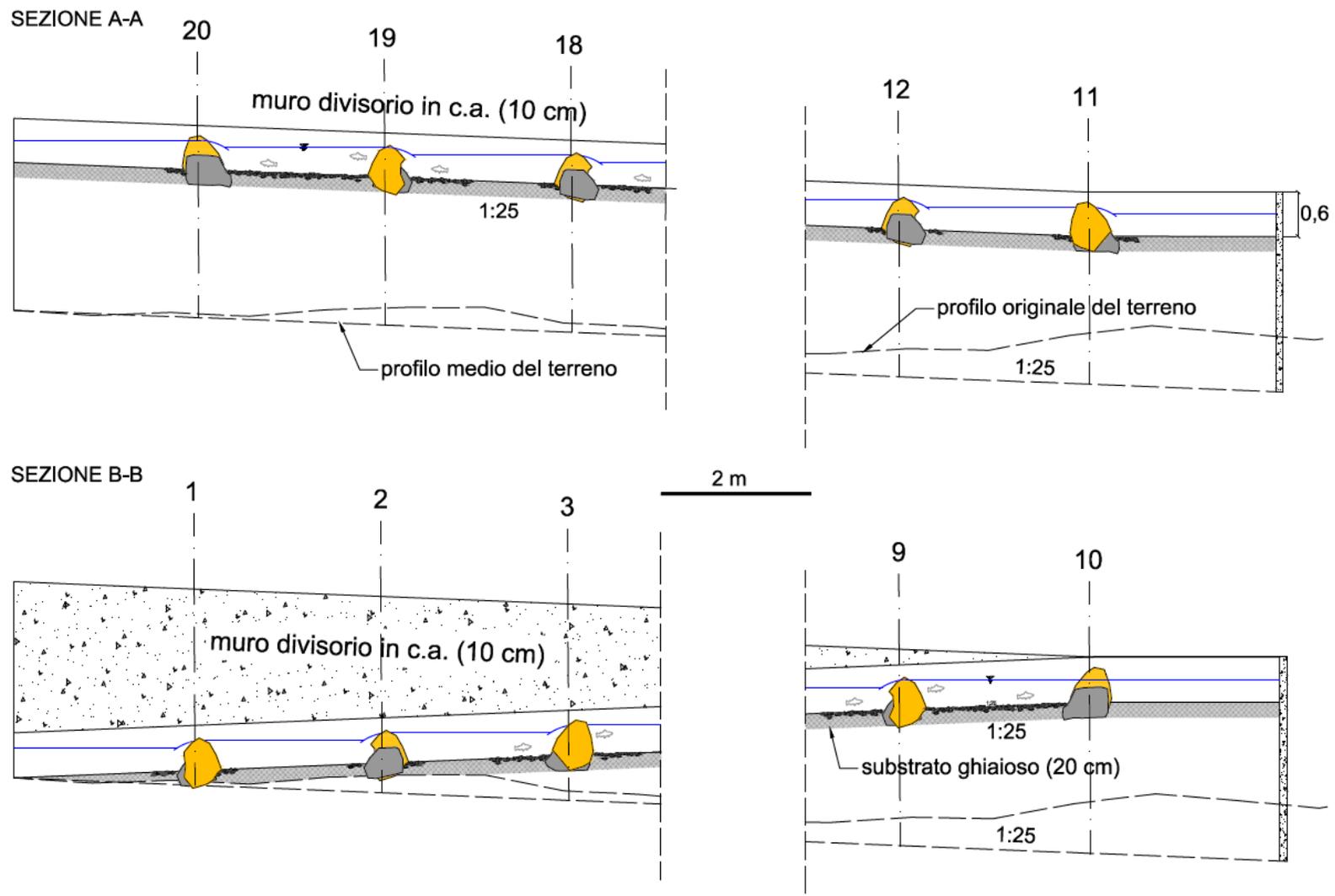


Fig.8-34: Sezioni longitudinali A-A e B-B della *fish ramp* – quote in metri.

Quindi si verifica l'ammissibilità della velocità massima: $V_{max} = \sqrt{2g\Delta h} = 1.4 \text{ m/s} \leq 2 \text{ m/s}$

Con riferimento a quanto visto al paragrafo 8.2 è importante sottolineare come questa velocità sia compatibile con quella raggiungibile dalla trota target in attività sostenuta; la sua richiesta avviene solo attraverso la soglia, quindi per un tempo molto ridotto a cui il pesce è capace di resistere, oltre il quale tale sforzo non viene più richiesto ed è concesso ai pesci di sfruttare le zone di riposo create dai *boulders*. Si ricorda che il profilo selezionato per la rampa prevede la realizzazione di soglie posizionando *boulders* la cui permeabilità viene garantita interponendo *massi piatti* di diametro inferiore; nel caso in esame si sono fatte le seguenti scelte progettuali:

- *boulders* e *massi piatti* entrambi di natura calcarea in quanto più facilmente reperibili in zona essendone la litologia prevalente;
- *boulders* e *massi piatti* siano immorsati nel fondo ad una stessa profondità $d_f = 20 \text{ cm}$. Generalmente per tale profondità il fondo viene ricoperto o sostituito da substrato ghiaioso necessario sia per aumentare la scabrezza che per fornire habitat alle comunità invertebrate ma nel caso in esame, presentandosi in sito, questo non è richiesto;
- le porzioni permeabili delle soglie composte dai *massi piatti* siano disposte in maniera alternata ai lati della rampa in modo da conferire al filone un andamento meandrizzato più simile al naturale come in figura seguente (Fig.8-35);
- le dimensioni (diametro d_s) dei *massi* siano tali per cui, con Q_d , si abbia una lama stramazzone $h_{head} = 20 \text{ cm}$ sulla porzione permeabile mentre invaso massimo senza sfioro nella porzione rimanente. Ricordando che il livello a monte della soglia è $h = 40 \text{ cm}$ segue che:

$$\begin{cases} \text{per i massi piatti: } d_s = d_f + (h - h_{head}) = 40 \text{ cm} \\ \text{per i boulders: } d_s = d_f + h = 60 \text{ cm} \end{cases}$$

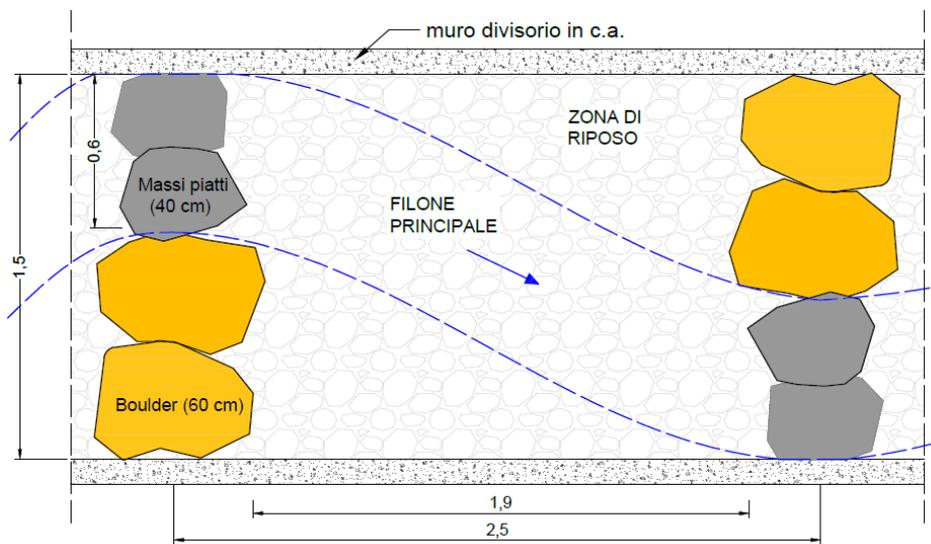


Fig.8-35: Planimetria di un bacino e deflusso meandrizzato nella *fish ramp* (quote in metri).

Quindi è possibile calcolare l'ampiezza dell'apertura invertendo la formula di Poleni:

$$\sum b_s = \frac{\left(\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot h_{head}^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g}\right)}{Q_d} \cong 0.6 \text{ m}$$

Nella quale si è assunto:

- $\mu = 0.5$ per massi a spigoli vivi, come si suppone essere quelli adottati;

– $\sigma = 1$ facendo riferimento a figura (Fig.7-25) per $\frac{h}{h_{head}} = \frac{0.1}{0.2} = 0.5$

Nota l'apertura la larghezza di base della rampa può essere stimata come segue: $b \geq 2.5 \cdot \sum b_s = 1.5 \text{ m}$

Generalmente è consigliato che le *fish ramp* siano almeno larghe 2 m ma, considerando il basso valore di portata e che si realizzeranno 2 rampe di verso opposto, si decide di assumere una larghezza di 1.5 m. Nel caso in esame, poiché si sta dimensionando già con la minima portata e volendo realizzare un andamento a meandri, non si ritiene necessario conferire al fondo della rampa un andamento triangolare o trapezio e quindi il deflusso sulla rampa avviene su sezione rettangolare; inoltre la b_s non verrà suddivisa in più tratti ma sarà continua.

In figura seguente si riporta la sezione frontale della soglia progettata (Fig.8-36) mentre in figura (Fig.8-37) la sezione trasversale C-C, indicata nella precedente planimetria dell'opera, dell'intero passaggio.

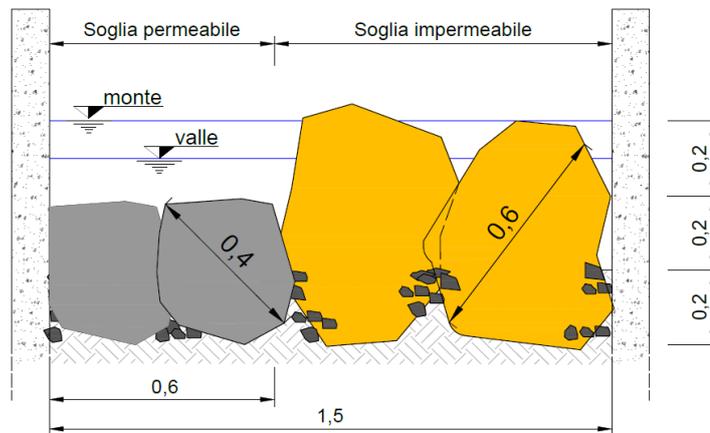


Fig.8-36: Sezione trasversale di una soglia in massi della *fish ramp* - quote in metri.

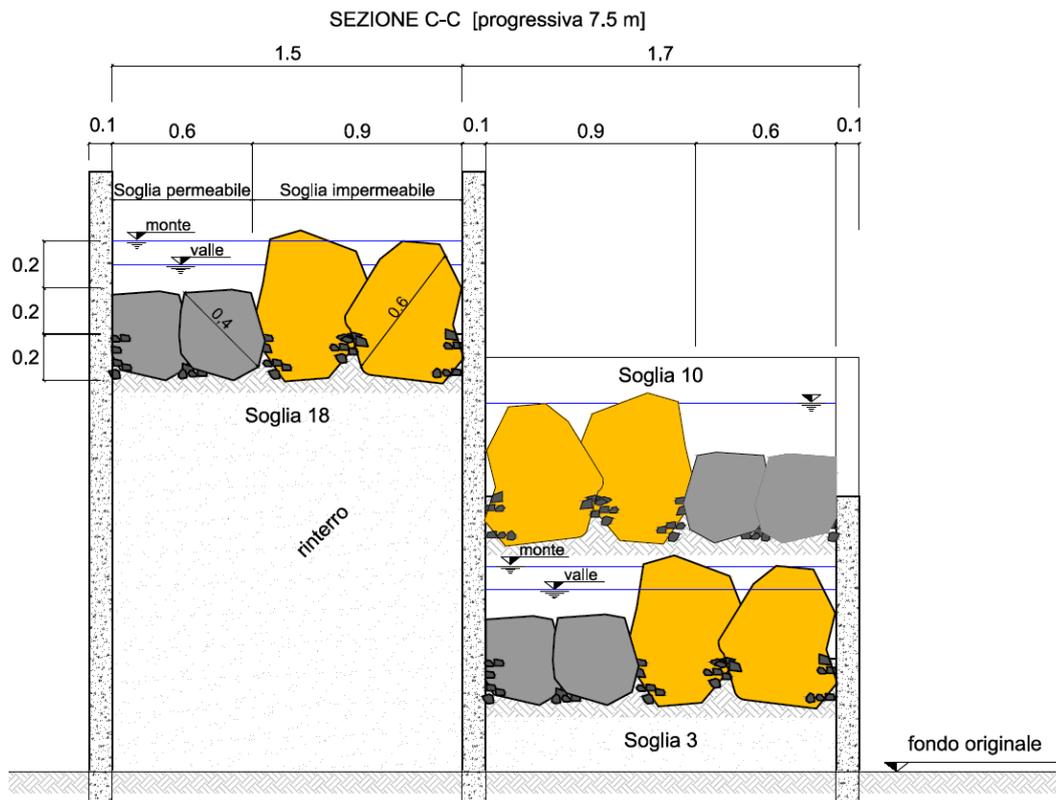


Fig.8-37: Sezione trasversale C-C della *fish ramp* - quote in metri.

Concluso il dimensionamento della rampa è possibile svolgere le verifiche sulla velocità media e la dissipazione nei bacini che risultano entrambe soddisfatte:

$$\begin{cases} U = \frac{Q_d}{bh_m} = 0.15 \frac{m}{s} \leq (0.4 \div 0.6) \frac{m}{s} \\ E = \frac{\gamma \Delta h Q_d}{bh_m (l_b - d_s)} = 79.10 \frac{W}{m^3} \leq (150 \div 250) \frac{W}{m^3} \end{cases}$$

Si precisa che la verifica su E risulta ovviamente soddisfatta anche nel bacino di inversione posto in corrispondenza del gomito della rampa essendo questo di larghezza doppia.

Tuttavia si ricorda tali verifiche devono essere soddisfatte per tutte le portate e non solo per quella di progetto Q_d ; pertanto, essendo come detto quest'ultima la minima e per la quale le verifiche sono già state svolte, esse possono essere utilizzate per individuare anche la Q_{max} che sarà portata limite per la fruibilità della rampa.

Per come sono state progettate le soglie della rampa; supponendo fluente una portata $Q^* > Q_d$, causante un innalzamento Δh^* del livello nei bacini, l'intera larghezza è interessata da un deflusso a stramazzo (Fig.8-38) in cui l'altezza della lama stramazante differisce di h_{head} tra i *boluders* e la parte permeabile

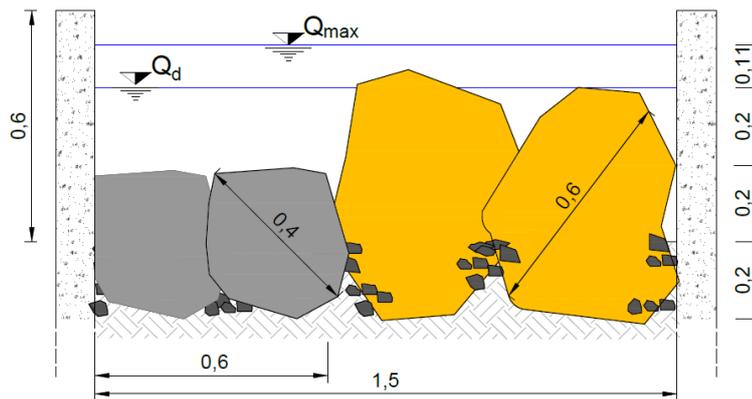


Fig.8-38: Sezione trasversale di una soglia in massi della *fish ramp* con portata massima e minima - quote in metri.

Quindi il deflusso può essere visto come sovrapposizione dei 2 contributi, entrambi a stramazzo, sui *boluders* (pedice *imp*) e sulla parte permeabile (pedice *perm*):

$$Q^* = Q_{imp} + Q_{perm} \text{ dove } \begin{cases} Q_{perm} = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot b_s \cdot (h_{head} + \Delta h^*)^{3/2} \sqrt{2g} \\ Q_{imp} = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot b \cdot (\Delta h^*)^{3/2} \sqrt{2g} \end{cases}$$

In questo modo è ovvio che il salto Δh tra i bacini risulta invariato e di conseguenza lo è anche la V_{max} per la quale non è necessaria verifica.

Al contrario varieranno i valori di U ed E in quanto dipendenti in maniera proporzionale da Q e quindi, assumendo i valori limite di verifica possono essere utilizzate per ricavare la Q_{max} :

$$\begin{cases} Q_{max} = (0.4 \div 0.6) \cdot bh_m = (201 \div 315) \frac{l}{s} \\ Q_{max} = (150 \div 250) \frac{bh_m (l_b - d_s)}{\gamma \Delta h} = (151 \div 253) l/s \end{cases}$$

Pertanto la massima portata per cui la *fish ramp* risulterebbe ancora fruibile ai pesci è: $Q_{max} = 253 \text{ l/s}$; nel caso provenissero da monte portate superiori (sicuramente possibile osservando Fig.8-28) l'eccesso deve essere scaricato attraverso sfioro o paratoia ma potrebbe essere comunque tale da impedire la risalita dei pesci nell'alveo stesso.

A questa portata, risolvendo iterativamente l'equazione di Q^* precedentemente riportata, corrisponde un innalzamento Δh^* pari a 0.11 m e pertanto il muro divisorio della rampa deve essere tale da contenere un livello massimo: $h_{max} = 0.4 + 0.11 = 0.51 \text{ m}$. Si decide di realizzare il muro con una sporgenza di 60 cm rispetto al fondo della rampa (Fig.8-39).

Naturalmente questo muro si estende lateralmente in modo da dividere il passaggio dall'alveo e centralmente in modo da dividere le due "corsie" della rampa per tutto lo sviluppo della rampa stessa fatta eccezione per il primo bacino dove non viene realizzato nel lato di accesso dei pesci per consentirne l'accesso alla rampa stessa.

A valle di questo accesso, praticamente a ridosso dello sbarramento, è bene evitare l'erosione da parte della corrente stabilizzando il fondo mediante posa di massi di grande diametro o realizzazione di una scogliera.

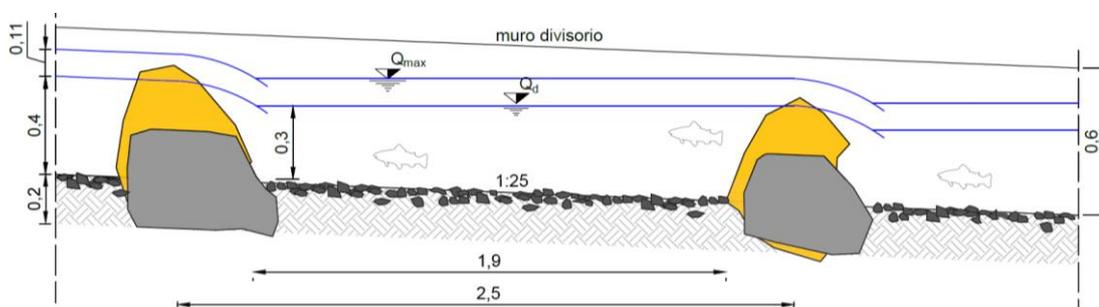


Fig.8-39: Sezione longitudinale (seguendo il filone principale) di un bacino della *fish ramp* con portata massima e minima (quote in metri).

Purtroppo il muro divisorio aumenta l'impatto visivo dell'opera e quindi, pur rimanendo invariata la maggiore somiglianza con l'habitat fluviale, si riducono i vantaggi derivanti dall'uso di un passaggio naturalistico: si prevede comunque un rivestimento in pietrame per ridurne l'impatto.

Infine è necessario calcolare la portata critica relativa all'incipiente movimento dei massi; si decide di adottare il già esposto criterio di Whittaker e Jäggi che, essendo consigliato per costruzioni a massi dispersi non immorsati, condurrà ad una valutazione comunque cautelativa.

Considerando i massi piatti più vulnerabili (assumendo $\rho_s = 2400 \text{ kg/m}^3$ e $d_{65} \approx d_s/1.06$) si ottiene:

$$Q_c = b \cdot 0.257 \left(\sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \cdot \sqrt{g} \cdot i^{-\frac{7}{6}} \cdot d_{65}^{\frac{3}{2}} \right) = 14.16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Essendo $Q_c \gg Q_{max}$ si può considerare soddisfatta la verifica di stabilità della *fish ramp*.

8.6.1.2. Monitoraggio di efficienza del passaggio.

Come sempre detto è di fondamentale importanza, contestualmente al dimensionamento del passaggio, dotarlo di un adeguato piano di monitoraggio che a posteriori ne verifichi l'efficienza di funzionamento o che comunque possa essere dimostrare la necessità successive modifiche.

Rispetto alla chiusa per pesci analizzata nel paragrafo 8.4.2 si è in una situazione totalmente differente; tuttavia, analogamente al caso appena citato, per svolgere il monitoraggio idrologico sarà necessario posizionare nel passaggio, possibilmente nel primo e nell'ultimo bacino, dei sensori di portata e per la misura del trasporto solido. Questo risulta molto agevole nel bacino di monte in quanto è possibile sfruttare la presenza dello sbarramento, sul quale possono essere posizionati i sensori, mentre a valle è possibile dover realizzare un apposito alloggiamento per gli strumenti.

Inoltre, come in tutti i passaggi naturalistici, il livello del fondo ed anche del pelo libero deve essere determinato mediante rilievo topografico speditivo.

Si ricorda che, poiché nella fish ramp non si è previsto l'inserimento di organi mobili, non sarà necessario impostare alcun monitoraggio di tipo meccanico.

Per quanto riguarda invece il monitoraggio biologico, resta ovviamente praticabile la soluzione indiretta mediante campionamento che peraltro, viste le dimensioni dell'alveo, risulta assai meno onerosa rispetto ai casi precedenti.

Naturalmente le informazioni che derivano da questo tipo di analisi sono istantanee e non continue e quindi andrebbero svolte con una frequenza molto elevata che raramente è giustificabile se non in concomitanza di altri studi che necessitano di quei dati.

Quindi per migliorare il monitoraggio sarà nuovamente necessario affiancare ai campionamenti altre indagini di tipo diretto.

Tra queste, la tipologia di passaggio selezionato è tale da escludere a priori tutte le possibilità di un conteggio per ispezione visiva, sia essa in tempo reale che registrata.

Si può escludere anche il contatore elettronico vista la difficoltà di posizionamento degli elettrodi tra le soglie.

Restano invece applicabili tutte le tecniche di monitoraggio per marcatura e radio-tracking nelle quali, a differenza dei casi analizzati sullo Slizza:

- non avendo a che fare con una chiusa, quindi con il suo sistema di camere e paratoie, la cattura e l'eventuale ricattura dei pesci mediante reti è più complessa. In particolare, vista la larghezza ridotta del passaggio è consigliabile l'utilizzo di nasse, capaci di coprirla interamente, posizionate immediatamente a monte della prima soglia;
- la larghezza ridotta del passaggio rende particolarmente agevole l'inserimento agli estremi della prima ed ultima soglia di antenne (Fig.8-40) per svolgere in automatico il conteggio, mediante *pit-tag* o *radio-tracking*, senza bisogno di un'ulteriore ricattura.

È ovvio che, in assenza di un conteggio visivo, saranno ridotte le informazioni riguardanti specie e dimensione mentre, d'altro canto possono essere migliori le informazioni relative alle abitudini ed alle migrazioni del singolo esemplare.

Inoltre è da segnalare che, in quanto piuttosto semplici, al di fuori dello sforzo necessario per la cattura ed eventuale ricattura, i metodi proposti per il monitoraggio risultano non necessitare di alcuna manutenzione.



Fig.8-40: Esempio di installazione di antenne per *pit-tag* su passaggio naturalistico (da Regione Piemonte, 2011)

8.6.1.3. Manutenzione del passaggio.

Avvalendosi del piano di monitoraggio idrologico appena descritto si precisano di seguito anche gli aspetti principali riguardanti il piano di manutenzione

Come in tutti i passaggi naturalistici la manutenzione ordinaria, legata prevalentemente alla problematica dell'intasamento per trasporto solido, risulta essere ridotta e pertanto, rispetto alle altre tipologie, la manutenzione della fish ramp risulta essere relativamente bassa.

Si aggiunge che anche i sistemi di monitoraggio biologico selezionati non richiedono alcun onere dal punto di vista della manutenzione.

Invece, visto il grande vantaggio di questa tipologia cioè quello di offrire continuità anche alle specie invertebrate, diventa importante evitare un eccessivo deposito di frazione fine che ne ridurrebbe l'habitat vitale.

La manutenzione ordinaria quindi si limita sostanzialmente alla rimozione occasionale di materiale flottante e/o sporczia dai bacini oltre a periodici controlli di danneggiamento delle soglie.

Quest'ultimi sono invece indispensabili come manutenzione straordinaria a seguito di fenomeni di piena che, come visto in Fig.8-2 sono presenti soprattutto nel periodo migratorio.

Quanto detto, considerando anche la presenza della paratoia dell'opera di derivazione, sembra anche sconsigliare l'adozione di un organo di regolazione all'imbocco della rampa a scopo di manutenzione e comunque conferma che questa non produrrà un importante incremento dei costi.

8.6.1.4. Stima dei costi dell'intervento.

La stima dei costi della fish ramp viene svolta con riferimento al prezzario regionale dei lavori pubblici del 2016 nel quale è possibile reperire i costi unitari di ciascun magisteri, comprensivi della manodopera della quale viene indicata la percentuale d'incidenza nella colonna %man.

I pressî unitari utilizzati per la stima sono i seguenti riportati in tabella (Tab.8.6.1.3-I) con le dovute precisazioni:

- si ricorda che per la realizzazione delle soglie stati utilizzati massi calcarei di diametro nominale rispettivamente 0.6 m (*boulders*) e 0.4 m (*massi piatti*). Con una densità di 2400 kg/m³ il loro peso unitario risulta rispettivamente di circa 2.2 t e 0.6 t; come si nota il prezzario non fornisce i costi per pesi unitari analoghi e pertanto la spesa verrà calcolata suddividendo il peso totale dei massi necessari tra elementi di 5 t e di 1 t.

Come evidenziano le figure precedenti si ritengono sufficienti 2 *boulders* e 2 *massi piatti* per realizzare ciascuna soglia; per cui è facile calcolare il volume totale e quindi il peso totale dei massi:

$$P_{tot} = 40 \cdot \rho_s \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (0.4^3 + 0.6^3) = 112.6 t$$

Per quanto appena detto verranno considerati:

$$\begin{cases} n_1 = \frac{P_{tot}/2}{5 t} = 56 \text{ massi da } 1 t \\ n_5 = \frac{P_{tot}/2}{1 t} = 11 \text{ massi da } 5 t \end{cases}$$

- per il muro divisorio, sono stati utilizzati i prezzi relativi all'esecuzione di un massetto in quanto elemento più simile riconosciuto nel prezzario; questo preferendolo ai diaframmi in c.a. nel quale vengono computati i costi di uno scavo profondo e stabilizzazione dello stesso.

In base ai precedenti chiarimenti si riassume in tabella la stima del costo della fish ramp (Tab.8.6.1.3-II) che risulta essere pari a circa 7.302 €

Per quanto visto in precedenza è lecito considerare poco significativi gli incrementi dovuti alla manutenzione; tuttavia, come si vedrà successivamente per il passaggio tecnico, è necessario osservare l'indipendenza di questa stima dal contesto lavorativo nel quale viene realizzata l'opera che invece, direttamente e indirettamente, influenza anche la spesa.

Ovviamente è impossibile quantificare i sovraccosti dovuti ai fattori geografici e morfologici da cui dipendono ad esempio l'accessibilità del sito o eventuali problematiche stagionali dovute al clima; tuttavia si anticipa che, nel caso del passaggio tecnico, questa valutazione viene fatta mediante un coefficiente di proporzionalità (si veda 8.6.2.4) il cui rapporto tra il valore massimo, relativo alle condizioni più sfavorevoli, ed il primo quartile, relativo quindi a condizioni poco sfavorevoli, risulta essere pari a:

$$\frac{300.000}{80.000} = 3,75$$

Pertanto, considerando gli effetti del contesto lavorativo indipendenti dal tipo di opera, è possibile considerare cautelativamente che il costo della *fish ramp* diventi:

$$C = 7.302 \cdot 3,75 = 27.383 \text{ €}$$

Naturalmente si ribadisce che questa stima risulterà tanto più eccessiva quanto più sarà possibile l'utilizzo di materiale reperibile direttamente in sito.

Tab.8.6.1.3-I: Prezzi unitari dei magisteri per la realizzazione della fish ramp (da Prezzario FVG, 2016).

Magistero	Descrizione	%man	Prezzo unitario [€]
MOVIMENTAZIONE DI MATERIALE IN AMBITO FLUVIALE	<i>Movimentazione di materiale di qualsiasi natura e consistenza, eseguito in ambito fluviale con l'impiego di mezzi meccanici di qualsiasi genere...compreso l'onere del taglio della vegetazione eventualmente presente, la successiva sistemazione del materiale, la profilatura e sagomatura delle scarpate nonché il carico, il trasporto e il deposito del materiale scavato fuori dall'ambito del cantiere in aree reperite a cura dell'appaltatore.</i>	15,64	4,49 al m ³
SCOGLIERA IN MASSI NATURALI	<i>Esecuzione di scogliera a gettata mediante fornitura e posa in opera di massi di natura calcarea, basaltica, granitica, ecc. privi di cappellaccio, delle dimensioni indicate nei disegni di progetto, disposti in opera nei siti designati e secondo le sagome stabilite, compreso mezzi di trasporto, di sollevamento e posa, indennità di cava e pesatura dei massi.</i>	%man	Prezzo unitario [€]
Massi da 1 t		4,37	32,59 cad.
Massi da 5 t		4,09	34,86 cad.
MASSETTO IN CALCESTRUZZO (spessore 10 cm)	<i>Esecuzione di massetto in calcestruzzo armato, confezionato con cemento CEM I 32,5, inerti di adeguata granulometria con dimensioni max. di mm 20 avente C25/30 con rapporto acqua/cemento non maggiore di 0,6, compresi eventuali casseri di contenimento, stesa, lisciatura, con l'esclusione del ferro d'armatura che verrà compensato a parte.</i>	8,83	22,94 al m ²

Tab.8.6.1.3-II: Stima del costo della fish ramp progettata

Magistero	Quantità	Spesa [€]
Movimentazione materiale in ambito fluviale	127,95 m ³	574,5
Scogliera in massi da 1 t	56	1.825,5
Scogliera in massi da 5 t	11	383,50
Muro divisorio in c.a. (spessore 10 cm)	197	4.519,2
Costo totale dell'opera		7.302,2

8.6.2. Progetto di un passaggio tecnico nella sezione 921.

Come si è accennato, la seconda soluzione proposta per l'eco-compatibilizzazione dell'opera di sbarramento della derivazione 921 viene ricercata tra quelle tecniche.

Tra queste, al fine di avere un confronto significativo con la soluzione naturalistica precedentemente progettata, si decide di scartare i passaggi a bacini successivi in quanto tale scelta condurrebbe ad una soluzione sostanzialmente analoga alla precedente le cui differenze non sarebbero sostanziali in ottica di un confronto in quanto avrebbe sicuramente minor ingombro ma anche una minore naturalità ed un maggiore impatto visivo.

La scelta si riduce quindi tra i passaggi a rallentamento e quelli a fenditure verticali; per il caso in esame si decide di optare per la seconda soluzione in quanto:

- è possibile dire che entrambe le soluzioni comportino un identico impatto visivo sebbene il passaggio Denil, potendo essere caratterizzato da pendenze superiori, potrebbe avere un minore ingombro longitudinale nell'alveo;
- i passaggi a fenditure verticali sono riconosciuti (GRAIA, 2011) come il passaggio tecnico con maggiore efficacia;
- i passaggi a fenditure verticali, nei limiti dei passaggi tecnici, consentono la realizzazione di condizioni quali meandri, zone di riposo e substrato ghiaioso, più simili a quelle naturali che inoltre permettono la vita di altre comunità oltre ai pesci. Inoltre, anche la parziale realizzazione di alcune di queste condizioni, come ad esempio il substrato ghiaioso, comporterebbe nei passaggi Denil una manutenzione molto onerosa al fine di non comprometterne il funzionamento.

Naturalmente, al variare dei dettagli tecnici quali il numero e geometria delle fessure e quindi sostanzialmente delle modalità di collegamento tra i bacini, sono disponibili un gran numero di queste soluzioni; tuttavia nel caso in esame si decide di adottare quella più semplice a fenditura verticale singola.

Analogamente a quanto precedentemente fatto per la rampa, anche in questo caso, si decide di sviluppare il passaggio mediante due rampe a verso di percorrenza opposto con la prima verso valle e la seconda verso monte, separate da bacino di dissipazione, in modo da ridurre l'ingombro longitudinale e da poter porre l'imbocco immediatamente a ridosso dello sbarramento.

Ovviamente si ripropone anche lo stesso sviluppo planimetrico, in sponda sinistra, realizzato sempre prolungando il muro di sponda della derivazione; pertanto in tal senso, per chiarezza, è possibile riferirsi allo schema già riportato (Fig.8-31).

8.6.2.1. Dimensionamento del passaggio a fenditure verticali.

Di seguito si procede ad illustrare le fasi di progetto del passaggio dove, per le relazioni, i vincoli ed i simboli utilizzati si farà riferimento unicamente al paragrafo 7.5.2.2.

Nuovamente i dati fondamentali per il progetto risultano essere il salto totale e la portata di progetto; a proposito dei quali si rendono necessarie le seguenti precisazioni:

- la portata di progetto stimata nei paragrafi precedenti è: $Q_d = Q_{DMV} = 73.54 \text{ l/s}$; tuttavia riferendosi ai manuali di progettazioni di quest'opera (si veda Tab.7.5.2.2-1) si evince come, per la risalita della trota fario, siano consigliate portate non inferiori a 140 l/s. Si ritiene dunque necessario e possibile aumentare a 140 l/s il valore della portata di progetto poiché:
 - le raccomandazioni citate sono il frutto di test sperimentali svolti nel rispetto dei limiti di fruibilità del passaggio e quindi forniscono importanti garanzie nel progetto di opere la cui funzionalità, in assenza di test, sarebbe molto incerta;
 - il valore riesce ad essere garantito in tutto l'anno, sebbene comportando una riduzione di 65 giorni del funzionamento dell'impianto;
 - il valore non è assurdo visto che coinciderebbe con la portata di DMV calcolata col metodo Svizzero;

- sostanzialmente è un aumento di DMV che può essere visto come ulteriore garanzia nei confronti di eventuali perdite che possono avvenire lungo il tratto sotteso dalla derivazione.
- come visto nel precedente capitolo, contrariamente alle soluzioni naturalistiche, i passaggi tecnici non sono una modifica del fondo originale del corso d'acqua, e pertanto il salto totale da considerare non è quello tra l'invaso ed il fondo a valle di esso ma bensì quello tra i peli liberi nelle sezioni di imbocco-sbocco del passaggio che quindi dipende dalle portate fluenti a valle della derivazione.

Al fine di svolgere un dimensionamento cautelativo si è soliti considerare la condizione di livello minimo a valle dello sbarramento; nel caso in esame questo significa conoscere il tirante a valle dello sbarramento relativo al rilascio di una portata pari a Q_d .

In condizioni di magra, l'osservazione di documentazione fotografica e immagini satellitari, ha messo in evidenza che il deflusso nel rio Bianco si sviluppa lungo il filone di magra che corre, con andamento a meandri, all'interno dell'alveo di piena rendendo complesso conoscerne il tirante.

Tuttavia questo carattere composito della sezione non si manifesta immediatamente a valle dello sbarramento dove essa è compatta di forma trapezia (Fig.8-32) e dove vi è l'imbocco del passaggio attraverso il quale viene rilasciata l'intera Q_d .

Quindi, dopo aver attraversato il passaggio, la corrente si troverà di fronte ad un brusco allargamento di sezione e, essendo rivolta verso monte, nuovamente all'ostacolo dello sbarramento che ne complica il calcolo del livello; pertanto, viste le numerose incertezze presenti e legate peraltro anche alla geometria della sezione si ritiene lecito riferirsi nuovamente al livello del fondo assumendo:

$$h_{tot} = 2 m$$

A tal proposito è necessario ricordare che per un corretto funzionamento i *vertical slot passes* devono rispettare dei vincoli di livello minimo da garantire nei bacini; questo valore, qualora fosse superiore al tirante presente a valle del passaggio e quindi sicuramente nel caso in esame nel quale in pratica si assume nullo facendo riferimento al fondo, implica che parte del passaggio sarà sviluppato in trincea.

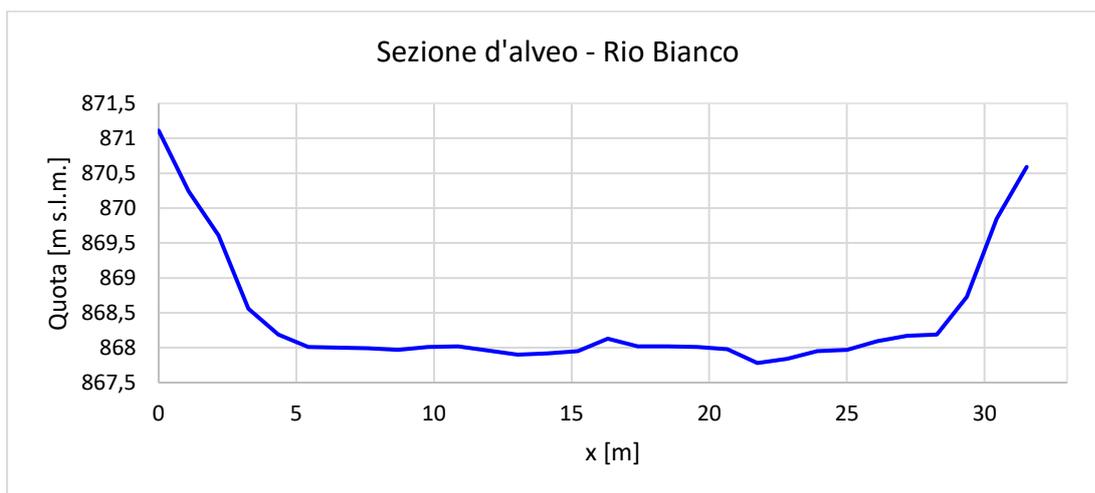


Fig.8-32: Sezione rappresentativa desunta da DTM del rio Bianco immediatamente a valle della derivazione.

Per quanto appena visto, onde facilitare il raccordo, cosa non necessaria in quelli naturalistici, tra il passaggio, lo sbarramento ed il fondo dell'alveo a valle, si decide di inserire due camere/bacini, una di entrata ed una di uscita, di lunghezza $l_c = 0.5 m$ che potrebbero anche essere utili per un ipotetico inserimento di organi di regolazione del flusso nel passaggio.

Sempre facendo riferimento a tabella (Tab.7.5.2.2-I) vengono forniti, per la portata e specie target selezionate, le dimensioni minime del passaggio; in ottica di un confronto con l'altro passaggio naturalistico è sensato cercare di ottimizzare i vantaggi del tecnico selezionando le dimensioni minori possibile (Tab.8.6.2-I).

Ovviamente, nel rispetto di tali requisiti, possono essere utilizzati setti di diverso profilo/materiale che produrranno diverse condizioni di deflusso e dei quali lo spessore in particolare è una grandezza che dovrà avere determinati requisiti strutturali; nel caso in esame si opta per uno spessore pari a quello del muro di 10 cm.

Nel caso specifico, rimanendo nel contesto alpino della provincia di Varese, si decide di utilizzare il profilo "a spigoli smussati" sperimentato da GRAIA sul fiume Tresa (GRAIA, 2011) ottenendo la planimetria riportata in figura (Fig.8-33); si precisa che tale scelta consentirà di ridurre la contrazione/separazione della vena d'acqua in corrispondenza del setto riducendo così le velocità ma tuttavia richiederà un aumento dell'ampiezza del deflettore (parametro c) da 0.16 m a 0.23 m.

Tab.8.6.2-I: Parametri di progetto del passaggio a fenditure verticali singole.

s [m]	0.15
b [m]	1.20
l_b [m]	1.90
c_{min} [m]	0.16
c [m]	0.23
a [m]	0.06
f [m]	0.16
h [m]	0.2
h_{min} [m]	0.5
d [m]	0.1

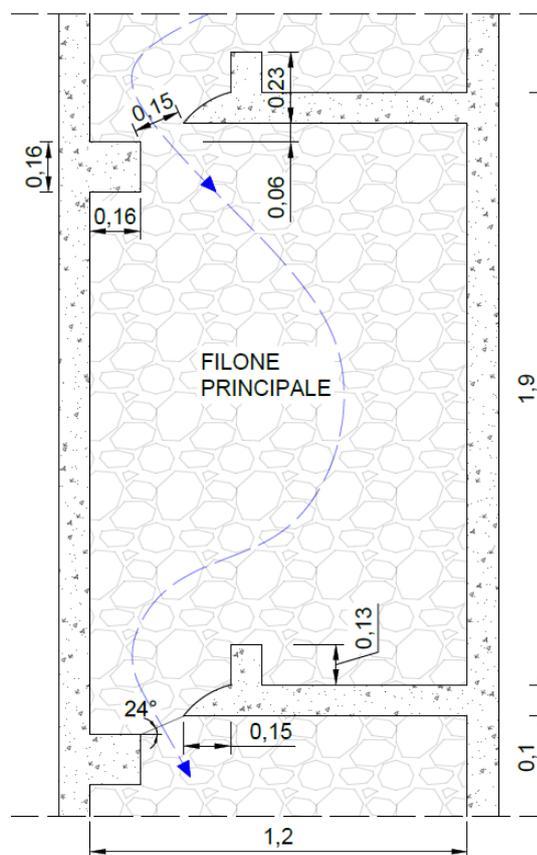


Fig.8-33: Planimetria di un bacino del passaggio a fenditure verticali (quote in metri).

In base alle dimensioni scelte è possibile determinare le seguenti grandezze:

- angolo di deflessione α pari a 24° .
Pur essendo inferiore a 30° che è valore minimo generalmente consigliato, può essere considerato ammissibile viste le dimensioni ridotte del passaggio e della specie target;
- pendenza del passaggio: $I = h/l_b = 0.105 = 10.5\%$.
Come conseguenza dell'estremo dimensionamento svolto anche questo valore risulta "al limite" poiché raramente si consiglia di superare il 10% tuttavia, come si vedrà in seguito condurrà a valori tollerabili di velocità;
- il numero di bacini e di setti necessari, al netto di quelli necessari per le camere:

$$\begin{cases} n_s = \frac{h_{tot}}{h} = 10 \\ n_b = n_s - 1 = 11 \end{cases}$$

- l'ingombro longitudinale del passaggio al netto del muro divisorio di 10 cm sarà pari a:

$$l_{tot} = 2 \cdot l_c + \frac{n_b}{2} \cdot l_b = 10.5 \text{ m}$$

Si nota immediatamente che risulta di molto inferiore a quello della precedente soluzione.

- la velocità tra le fenditure: $V_s = \sqrt{2gh} = 1.98 \frac{m}{s} \leq 2 \text{ m/s}$

Come ci si aspettava si raggiungono valori prossimi al limite concesso come conseguenza del dimensionamento coi valori minimi consigliati, ma la verifica di velocità risulta nuovamente soddisfatta e, per le stesse considerazioni svolte nel paragrafo precedente si può anche ritenere che questa sia compatibile con le capacità natatorie della specie target.

La scelta stessa di setti a profilo smussato garantirà una rapida decrescita di tale velocità a monte del setto e quindi assicura che lo sforzo massimo del pesce sia richiesto solo per un breve tratto.

Come fatto per il passaggio naturalistico, si riportano immediatamente nelle figure seguenti (Fig.8-34, Fig.8-35 e Fig.8-36) la planimetria, un particolare ed alcune sezioni longitudinali del passaggio tecnico.

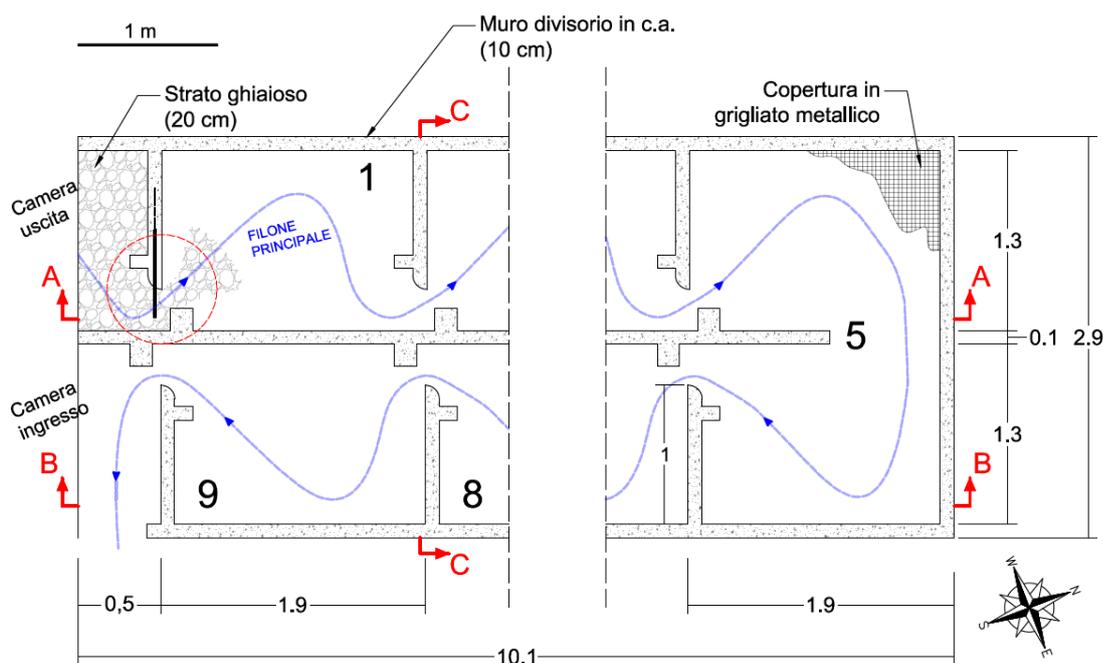


Fig.8-34: Planimetria del passaggio tecnico a fenditure verticali – quote in metri.

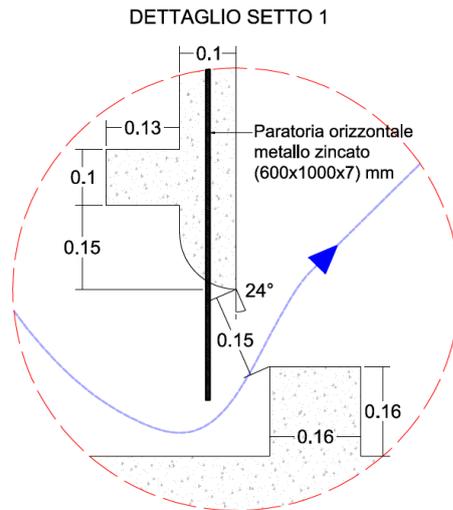


Fig.8-35: Particolare del primo setto del passaggio tecnico a fenditure verticali – quote in metri.

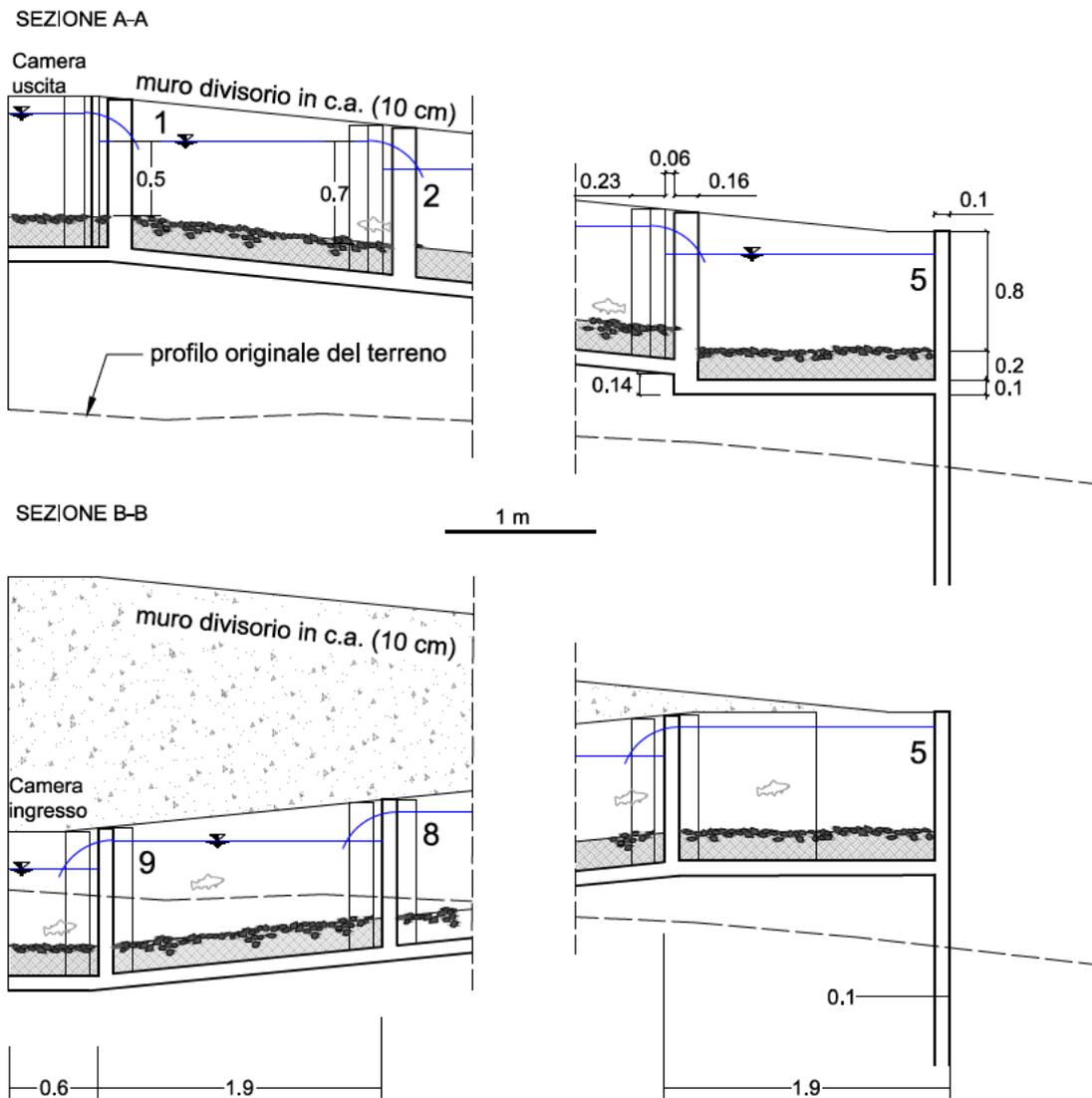


Fig.8-36: Sezioni longitudinali A-A e B-B del passaggio tecnico a fenditure verticali – quote in metri.

Per completare il dimensionamento non resta che individuare l'altezza del canale e quindi il profilo del fondo del passaggio del quale al momento risulta nota solamente la pendenza I .

Infatti, come si accennava in precedenza, questo sarà fissato in modo da garantire all'interno di ciascuna camera e bacino un livello minimo di 50 cm che si avrà immediatamente a valle dei setti oltreché la presenza di un substrato ghiaioso solitamente di spessore 20 cm.

Pertanto il fondo si deve realizzare a $-(50+20)$ cm dal pelo libero nelle camere tra le quali verrà raccordato con due tratti rettilinei di pendenza 10 %.

In questo modo il livello massimo raggiunto in un bacino risulterà essere pari a:

$$h_{max} = h_{min} + I \cdot l_b \cong 0.7 \text{ m}$$

Da cui può essere stimata l'altezza media: $h_m = (h_{max} + h_{min})/2 = 0.6 \text{ m}$

Si ricorda che il valore di portata assunto come dato di progetto corrisponde al risultato del calcolo di deflusso in presenza dei valori riassunti, ed assunti per il progetto, in Tab.8.6.2-I e pertanto non è necessario svolgerne nuovamente la stima.

Può essere quindi svolta la verifica sulla potenza dissipata nei bacini:

$$E = \frac{\gamma h Q}{b h_m (l_b - d)} = 212 \text{ W/m}^3 > 200 \text{ W/m}^3$$

La verifica risulta non soddisfatta.

Questa situazione è dovuta nuovamente al fatto che il passaggio è stato dimensionato in modo da ridurre al minimo ingombro trasversale e longitudinale in modo da distinguerlo al meglio rispetto alla precedente soluzione.

Senza rinunciare a questa logica di progetto, per soddisfare la verifica, si decide di aumentare la larghezza b a 1.3 m.

L'aumento della larghezza senza variazioni sulla geometria fessura non comporta un incremento della portata (la cui relazione è riportata nel paragrafo 7.5.2.2) e pertanto si ottiene:

$$E = 196 \text{ W/m}^3 \leq 200 \text{ W/m}^3$$

Naturalmente, come nel precedente passaggio, le verifiche di funzionamento andrebbero eseguite al variare della portata, e quindi al variare del dislivello h_{tot} che, avendo dimensionato con una portata di DMV, che è il valore minimo sempre fluente, potrà aumentare esclusivamente per aumento del livello a monte dello sbarramento.

In tal senso, per quanto appena visto, essendo tutte le verifiche già vicine al limite, è lecito ritenere non ammissibili aumenti di portata nel passaggio senza un significativo aumento delle sue dimensioni longitudinali e/o trasversali.

Tuttavia questa opzione viene rigettata considerando la possibilità di regolazione del livello dell'invaso grazie ai manufatti della derivazione ed il fatto che qualora questa non fosse possibile, ad esempio per eventi di piena, la funzionalità del passaggio non sarebbe comunque richiesta.

Quindi, è possibile concludere il dimensionamento determinando l'altezza dei setti e del canale; essendo tutti questi elementi in c.a. essa viene assunta costante consentendo di poter realizzare l'intera opera attraverso un unico getto ed in modo da avere un franco minimo di 10 cm e quindi:

$$H = h_{max} + 0.1 = 0.8 \text{ m}$$

Come per il passaggio naturalistico, anche per questa tipologia, si interrompe il muro verticale in corrispondenza dell'ultimo setto lasciando quindi aperta la camera di valle in modo da rilasciare la corrente di attrazione e di consentire l'accesso laterale ai pesci.

Si riportano di seguito il profilo longitudinale di un bacino passaggio progettato (Fig.8-37) e la sezione trasversale C-C indicata nella precedente planimetria (Fig.8-38).

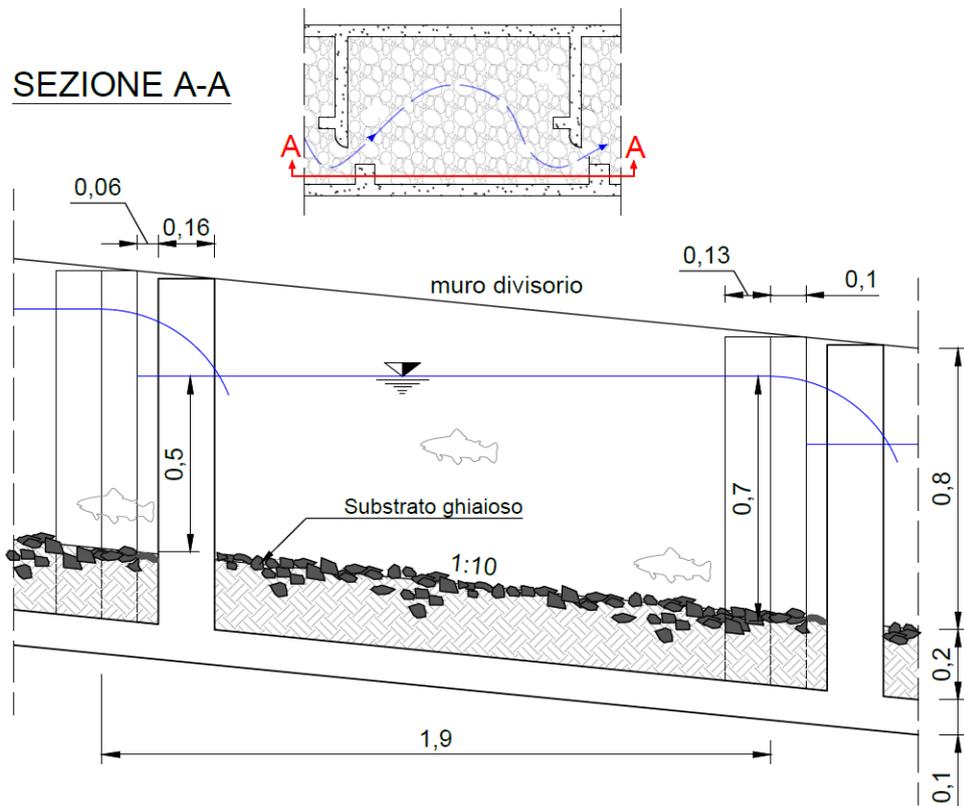


Fig.8-37: Sezione longitudinale di un bacino del passaggio a fenditure verticali - quote in metri.

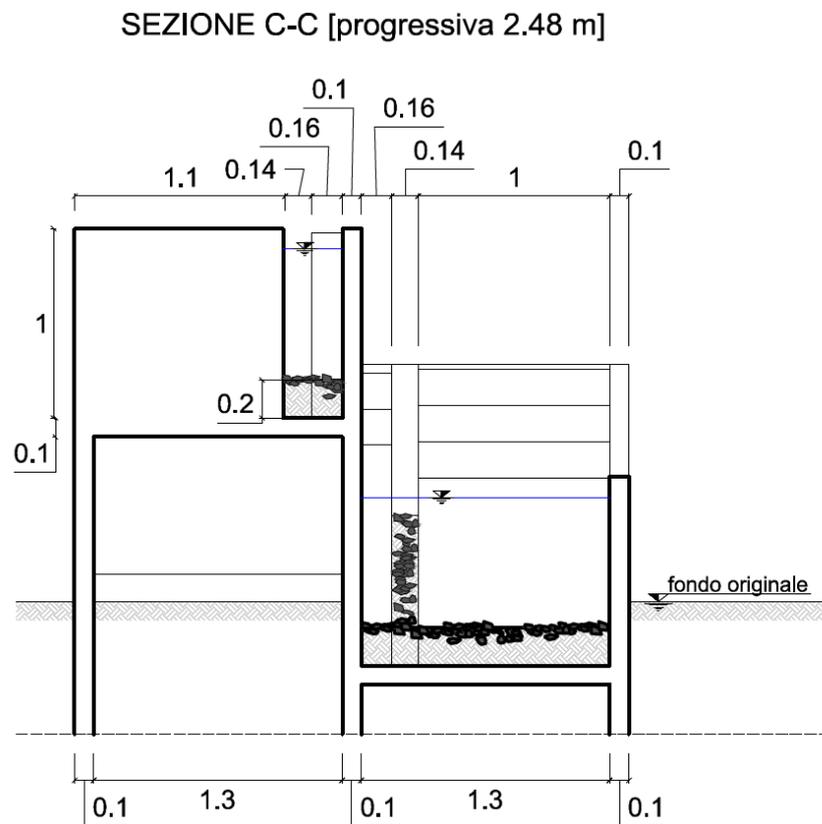


Fig.8-38: Sezione trasversale C-C del passaggio a fenditure verticali - quote in metri.

8.6.2.2. Monitoraggio di efficienza del passaggio.

Per quanto riguarda il piano di monitoraggio, rifacendosi a quello previsto in caso di adozione del passaggio naturalistico:

- restano invariate tutte le osservazioni riguardanti il monitoraggio idrologico nel quale, vista a natura artificiale del passaggio tecnico ed in particolare la presenza della griglia di copertura metallica, risulterà sicuramente più agevole l'installazione dei sensori di misura. Si precisa inoltre che anche in questa tipologia di passaggio è bene verificare stabilità e quindi i livelli idrici attraverso rilievi topografici speditivi;
- essendo il passaggio dotato di una paratoia mobile diviene necessario anche il monitoraggio meccanico della stessa che potrà essere ad esempio svolto contestualmente alle operazioni di manutenzione che ne richiedono il funzionamento;

Ovviamente anche per il monitoraggio biologico possono essere considerate valide tutte le soluzioni proposte per la fish ramp; infatti, anche in questo caso, sebbene fosse possibile realizzare una finestra di osservazione in corrispondenza del muro divisorio, l'impossibilità dell'ispezione visiva è dovuta alla mancanza di un manufatto adiacente all'opera la cui realizzazione non è giustificabile in presenza di altre opzioni.

Il contatore elettronico sarebbe utilizzabile ad esempio posizionando gli elettrodi in un tubo inserito in un bacino; tuttavia è lecito supporre che questa soluzione sia forzata in quanto disturba il deflusso caratteristico ricercato in questa tipologia di opera.

Si ritiene quindi ancora come migliore soluzione quella di un monitoraggio diretto affiancato da uno indiretto svolto per marcatura o radio-tracking (Fig.8-39).



Fig.8-39: Esempio di installazione di antenna per pit-tag fenditura verticale di un passaggio tecnico (da Regione Piemonte, 2011)

Vantaggi e svantaggi della soluzione sono i medesimi già descritti nel paragrafo 8.6.1.2; tuttavia bisogna precisare che nel passaggio tecnico è possibile ridurre lo stress indotto durante la cattura dei pesci in quanto questa può essere localizzata all'interno di un bacino senza che la nassa, o il generico dispositivo di cattura, sia portato fuori dal passaggio.

Tale operazione è resa possibile dalla presenza della paratoia mobile nel primo setto che, interrompendo il flusso nel passaggio, permette il conteggio direttamente all'interno del bacino.

Inoltre è possibile rendere il bacino stesso uno strumento di cattura semplicemente applicando il dispositivo di non ritorno direttamente sulla fenditura del setto; si riporta una figura schematica di questa soluzione in figura seguente (Fig.8-40)

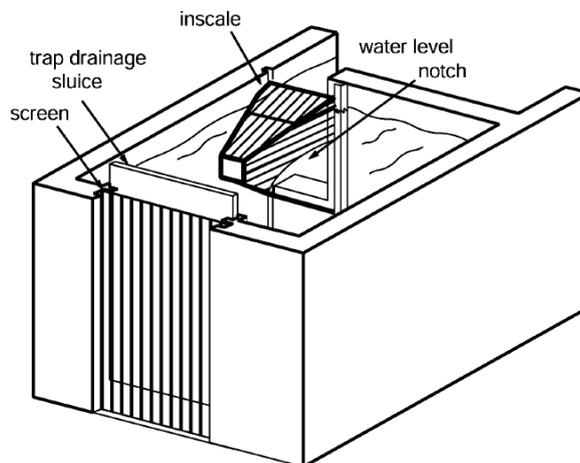


Fig.8-40: Bacino come strumento di cattura: dispositivo di non ritorno sulla fenditura e paratoia a monte per consentire lo svuotamento (da Travade e Larinier, 2002).

8.6.2.3. Manutenzione del passaggio.

Nel passaggio con fenditure verticali, come tutte le soluzioni tecniche, una delle principali cause di inefficienza è dovuta all'ostruzione totale o parziale delle aperture da parte del materiale solido trasportato dalla corrente del quale si ricorda che la frazione più fine potrebbe anche intasare i vuoti del substrato ghiaioso riducendo il microhabitat e quindi la funzione ecologica.

L'esperienza conferma che, in presenza di un progetto ben fatto, danni ed ostruzioni hanno effetti limitati sulla funzionalità del passaggio; tuttavia, considerazioni del genere non risultano assolutamente ammissibili in presenza di corsi d'acqua caratterizzati da elevato trasporto solido come è l'asta torrentizia in esame.

Pertanto questi passaggi richiedono un'elevata manutenzione, almeno settimanale, che solitamente viene facilitata dotandoli di opere accessorie quali:

- organo di regolazione della portata a monte del passaggio avente la funzione di interrompere il deflusso nel passaggio consentendone la manutenzione in ogni momento senza pericolo ed eventualmente anche evitare che fluiscano portate non funzionali.
Per quanto visto in fase di progetto e considerando la frequenza del lavoro di manutenzione, si ritiene necessario dotare il passaggio di un tale dispositivo.
In particolare, anziché realizzare una classica paratoia verticale che andrebbe posizionata nella camera di monte tra lo sbarramento ed il primo setto, un'opzione innovativa potrebbe essere quella di sostituire il primo setto con uno metallico mobile quindi praticamente una paratoia orizzontale all'interno della guida in calcestruzzo;
- camminamento metallico, ossia una copertura totale o parziale realizzata generalmente con grigliato metallico e poggiante su travi apposite travi metalliche o direttamente sui setti che, qualora vi fosse la necessità di transito di persone e mezzi, consente le operazioni di pulizia e manutenzione oltre ad impedire la caduta al suo interno di oggetti, persone ed animali indesiderati.

Nel caso in esame, si decide di utilizzare ambedue le soluzioni pocanzi descritte di cui uno schema planimetrico viene fornito di seguito (Fig.8-41)

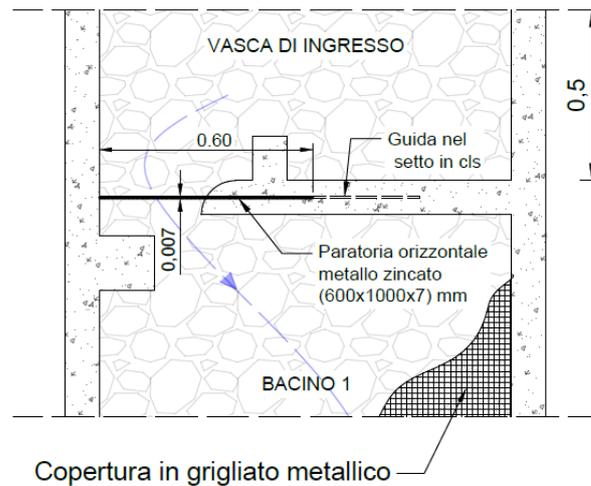


Fig.8-41: Soluzioni per facilitare la manutenzione del passaggio (quote in metri).

8.6.2.4. Stima dei costi dell'intervento

Rifacendosi agli studi svolti da Larinier (Larinier, 2002) riguardo i passaggi a bacini successivi nei quali egli include anche quelli a fenditure verticali, statisticamente il costo C risulta essere circa proporzionale al volume interno dell'opera di ingegneria civile:

$$C = K \cdot V$$

Dove:

- K è il coefficiente di proporzionalità variabile tra i (100 ÷ 1.500) €/m³.
La grande variabilità del coefficiente è dovuta ad esempio al diverso sforzo che si compie per itto-compatibilizzare uno sbarramento esistente piuttosto che realizzarlo contemporaneamente ad uno nuovo.
- V è il volume interno calcolato come prodotto tra la larghezza interna, lunghezza e tirante medio del passaggio. In realtà, per conoscere il costo totale dell'opera risulta necessario computare in V :
 - o il volume di tutte le piscine, vale a dire il passaggio stesso;
 - o il volume richiesto per l'alimentazione, il transito e la dissipazione di flussi ausiliari;
 - o il volume richiesto per intrappolare e / o vedere il pesce.

Inoltre a rigore andrebbero considerate diverse condizioni di volume, ovvero:

- o considerare un volume corrispondente all'intera gamma di livelli d'acqua previsti in durante il periodo di migrazione;
- o considerare un volume corrispondente al margine di sicurezza richiesto per impedire l'apertura della degli organi di scarico
- o considerare un volume aggiuntivo, che può anche essere molto variabile, imposto dalla topografia del sito in relazione al percorso del passaggio.

Essendo il calcolo appena esposto molto elaborato, lo stesso autore precedentemente citato fornisce la seguente relazione semplificata per la stima dei costi:

$$C = K H Q$$

Dove:

- H [m] è il dislivello totale in condizioni di portata minima nel passaggio;
- Q [m³/s] è la portata minima fluente nel passaggio;

- K [$\text{€}/\text{m}^4/\text{s}$] è il solito coefficiente di proporzionalità, in generale variabile tra 15.000 ÷ 300.000 ma del quale alcuni valori statistici sono riassunti in tabella seguente (Tab.8.6.2.3-I):

Tab.8.6.2.3-I: Alcuni valori statistici del coefficiente K (da Larinier, 2002)

K [$\text{€}/\text{m}^4/\text{s}$]	
Valor medio	97.260
Valore mediano	80.000
Primo quartile	53.000
Terzo quartile	115.000

Nel caso in esame si decide di svolgere la stima dei costi con la procedura semplificata appena illustrata in quanto proposta ed utilizzata anche dalla società italiana GRAIA nel 2011.

Assumendo cautelativamente il valore più elevato del coefficiente di proporzionalità ed i valori di portata e dislivello di progetto si ottiene:

$$C = K h_{tot} Q_d = 300.000 \cdot 2 \cdot 0,14 \cong 84.000 \text{ €}$$

La variabilità di K in questa formula viene imputata dagli autori alle condizioni in cui viene realizzato il passaggio per pesci; in questo caso, ricordando il contesto circostante lo sbarramento che era ovviamente montano ma caratterizzato da fitta boscaglia ed accessibili solo via sentieri, queste non si possono certo ritenere tra le più agevoli e giustificano quindi l'assunzione cautelativa.

In ogni caso una eventuale sovrastima sui costi può anche essere giustificata dalla presenza aggiuntivi relativi alle particolarità dell'opera progettata quali ad esempio l'organo mobile del primo setto, la copertura in grigliato, i costi di scavo, l'eventuale protezione in massi all'imbocco e l'eventuale riprofilatura dello sbarramento esistente; spese che eventualmente potrebbero anche indurre ad arrotondare direttamente la spesa a centomila euro.

8.6.3. Confronto delle soluzioni.

Nel presente paragrafo si propone un confronto critico tra le due soluzioni appena progettate al fine di individuare e selezionare per il progetto di ripristino del bacino l'ittiocompatibilizzazione ottimale dello sbarramento nella derivazione 921.

Per prima cosa si ricorda che le due tipologie di passaggi risultano essere state progettate e verificate per diversi intervalli di portata dei quali i valori minimi non sono sempre pari al valore di $Q_d = Q_{DMV}$ calcolato al paragrafo 8.3.

Come visto questo ha comportato una variazione nei giorni di funzionamento dell'impianto ed inoltre comporterà anche un diverso numero dei giorni di funzionamento dei passaggi stessi; entrambi aspetti che risultano importanti per selezionare la migliore soluzione.

Una valutazione media dei giorni di funzionamento dei passaggi si ottiene immediatamente confrontando le portate di funzionamento con la curva di portate "residue" ossia quelle non derivate date dalla differenza tra la AFDC media e la curva delle durate disponibili per l'impianto.

In figura seguente (Fig.8-42) i risultati di tale operazione poi riassunti in forma numerica in tabella (Tab.8.6.3-I).

Come si nota in figura e in tabella per assurdo il passaggio tecnico non funzionerebbe proprio in condizioni di magra, quando cioè non vi è derivazione e la portata viene fatta fluire in esso; pertanto si assume che in questi casi la portata in avanzo rispetto ai 140 l/s per cui è stato progettato vengano scaricate attraverso la paratoia della derivazione e si precisa che si tratterebbe di scarichi sempre inferiori a 160 l/s.

In ogni caso, dai risultati ottenuti è evidente che la migliore condizione la si ottiene col passaggio naturalistico che risulta più flessibile ed autonomo nel funzionamento e garantisce una maggiore producibilità dell'impianto idroelettrico.

Tab.8.6.3-I: Confronto tra i giorni di funzionamento dell'impianto idroelettrico e del passaggio a seconda della soluzione scelta.

Passaggio	Tecnico	Naturalistico
Q di funzionamento [l/s]	140	80 ÷ 254
gg. derivazione portata.	190	255
gg. inagibilità passaggio.	31*	22
* Se in condizioni di magra del rio Bianco tutta la portata venisse fatta fluire attraverso il passaggio i giorni di mancato funzionamento sarebbero 160.		

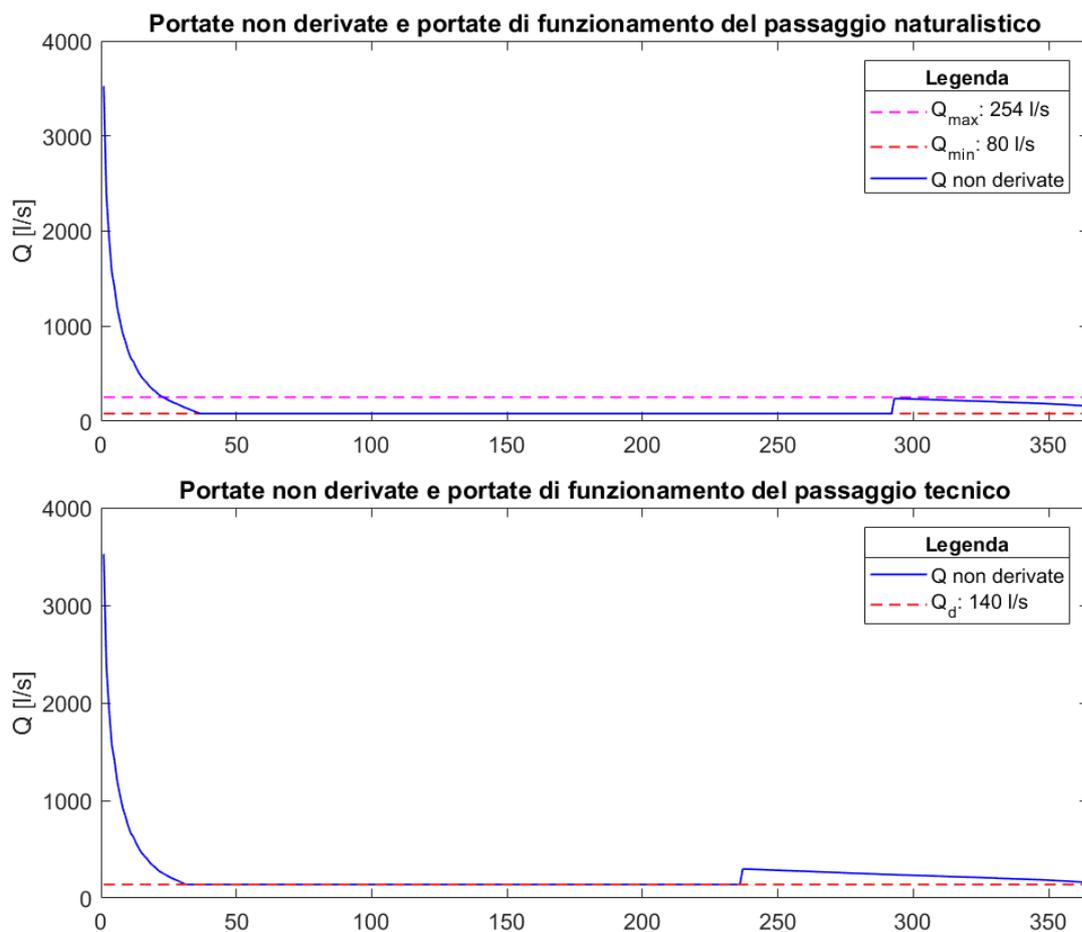


Fig.8-42: Confronto tra le curve medie delle portate non derivate e l'intervallo di portate di funzionamento per le diverse soluzioni di passaggi per pesci progettate – Presa 921.

Un secondo importante aspetto che viene considerato è quello relativo all'ingombro, inteso sia come trasversale che longitudinale, del passaggio; il quale ovviamente ha ripercussioni sia sul prezzo che sull'impatto visivo/paesaggistico dell'opera in un contesto come quello del rio Bianco che è di estrema naturalità.

Dai capitoli precedenti è risultato evidente, sia per motivi intrinseci delle tipologie, ma anche per le scelte progettuali fatte in sede di dimensionamento, è risultato evidente il maggiore ingombro dell'opera naturalistica rispetto alla tecnica.

Nello specifico quest'ultima comporta un ingombro planimetrico di circa 26 m² contro i 61.6 m² richiesti per la fish ramp.

Questo fatto, trascurando momentaneamente le conseguenze economiche e considerando invece che entrambe le soluzioni prevedono un andamento ripiegato con realizzazione di muri divisorii in c.a.,

porta a considerare estremamente ridotto e non nullo il vantaggio “paesaggistico della *fish ramp* rispetto al tecnico.

Infatti, sebbene vengano ricreate condizioni simil-naturali, la rampa ha comunque uno sviluppo marcatamente artificioso che, anche confinato da muri in c.a., produce sicuramente un impatto visivo paragonabile a quello della soluzione tecnica, sicuramente maggiormente aliena al contesto ma di dimensioni inferiori.

Un'altra analogia risiede nel fatto che entrambi i passaggi, sebbene con tecniche diverse, mirano a ricreare condizioni simili a quelle dell'asta considerata, quindi meandrizzato con rapide e zone di riposo al fine di preservare l'ecosistema fluviale; a tal proposito è indubbio che la funzione di corridoio ecologico viene meglio svolta dal passaggio naturalistico in quanto sicuramente più consono alla presenza di ulteriori specie animali e vegetali.

Per quanto riguarda i costi, come visto nei relativi paragrafi (8.6.1.4 ed 8.6.2.4), oltre alle dimensioni essi dipendono da molteplici fattori tra i quali anche la manutenzione che non è stata computata nella stima ma che verrà successivamente discussa.

Da un loro confronto è evidente come la soluzione più economica risulti di gran lunga quella naturalistica per la quale la spesa si riduce di circa 2/3 rispetto al passaggio a fenditure verticali.

Ovviamente si tratta di stime teoriche che potranno differire in maniera più o meno significativa dai costi reali a seconda dei tempi di realizzazione e di eventuali modifiche in corso d'opera; si ricorda infatti che per tali opere parte fondamentale del progetto riguarda la sperimentazione in sito.

Un ultimo aspetto che viene considerato è quello relativo all'onere di manutenzione legato alla soluzione, cosa che influisce sia sulla funzionalità che ovviamente anche sui costi; a tal proposito si ricorda anzitutto che entrambi i passaggi possiedono lo stesso posizionamento, pertanto tale variabile si considera ininfluenza in termini di manutenzione.

Gli interventi necessari sono stati discussi nei paragrafi 8.6.1.2. e 8.6.2.2. alla luce dei quali si può affermare che, sebbene siano stati adottati accorgimenti al riguardo, le caratteristiche di trasporto solido dell'asta, la natura del passaggio e la sua larghezza ridotta sono tali per cui il passaggio tecnico risulterà sicuramente più vulnerabile nei confronti di ostruzioni e danneggiamenti sia in condizioni ordinarie che straordinarie rispetto a quello naturalistico.

Per quanto riguarda il monitoraggio le due soluzioni presentano dei piani molto simili dove però il passaggio a fenditure verticali richiede anche un monitoraggio meccanico; tuttavia, la soluzione tecnica agevola dal punto di vista pratico l'esecuzione dei monitoraggi idrologico ma soprattutto biologico, permettendo una più semplice installazione dei dispositivi necessari al suo interno.

Dalle osservazioni appena svolte si evince che il passaggio naturalistico risulta meno costoso, più funzionale e flessibile ed anche durabile; inoltre esso richiede uno sforzo di manutenzione molto ridotto e garantisce una migliore funzione ecologica.

L'unico svantaggio di questa soluzione si identifica nell'elevato ingombro e col conseguente impatto visivo non trascurabile; tuttavia questa condizione è presente anche nel passaggio tecnico e pertanto si può assumere che la *fish ramp* sia la soluzione ottimale per l'eco-compatibilizzazione dello sbarramento sulla presa 921.

Appendice H. Codice in *Matlab* per la determinazione delle curve di frequenza della Q_{3d} .

```
%*****  
function [ Q_3d ] = tredici( M )  
%Funzione Tredici estrae la Q3d da serie cronologica delle Q nel periodo  
migratorio di una stagione secondo metodo di Katopodis (1992)  
%Input: M - vettore delle portate medie giornaliere tra novembre e  
febbraio  
% Output: Q3d - portata che fluente nel passaggio che provoca un  
ritardo di 3 giorni nella risalita  
l=length(M);  
Q_3d=0; %inizializzo la Q_3d a valore impossibile nullo  
for i=1:l-2  
if Q_3d>min(M(i:i+2)); %confronto Q3d con minimo della terna adiacente  
else  
Q_3d=min(M(i:i+2));  
end  
end %alla fine Q3d risulterà il massimo dei minimi delle terne; ossia  
il valore che in un anno è uguagliato e/o superato in 3 giorni  
consecutivi.  
end  
  
%*****  
%Script per la determinazione delle curve di frequenza della Q3d a  
partire dalle serie cronologiche M_xxxx delle portate medie  
giornaliere nell'anno xxxx  
  
Q_3d=[tredici(M_1975);tredici(M_1976);tredici(M_1977);tredici(M_1978);tredici(  
M_1979);tredici(M_1980);tredici(M_1981);tredici(M_1982);tredici(M_1983);tred  
i(M_1984);tredici(M_1985);tredici(M_1986);tredici(M_1987);tredici(M_1988);tr  
edi(M_1989);tredici(M_1990);tredici(M_1991);tredici(M_1992);tredici(M_1993);  
tredici(M_1994);tredici(M_1995);tredici(M_1996);tredici(M_1997);tredici(M_1998  
);tredici(M_1999);tredici(M_2000);tredici(M_2001);tredici(M_2002);tredici(M_20  
03);tredici(M_2004);tredici(M_2005);tredici(M_2006);tredici(M_2007);tredici(M_  
2008);tredici(M_2009);tredici(M_2010)];  
Q_3dd=sort(Q_3d, 'descend'); %ordina in maniera decrescente le Q3d  
Tr=37*ones(1,36)./ [1:36]; %i-esimo Tr stimato empiricamente come  
(n+1)/i
```

CONCLUSIONI

Il presente elaborato di tesi è stato sviluppato attorno al tema della tutela ecologica dei corsi d'acqua appartenenti al bacino idrografico del torrente Slizza ed in particolare affronta la progettazione dei passaggi per pesci volti al ripristino della continuità e della percorribilità delle aste che, per via delle opere di derivazione idrica e/o degli sbarramenti di difesa idraulica hanno subito negli anni un processo di frammentazione.

L'iniziale descrizione del bacino idrografico nei suoi vati aspetti geografico, fisico, idrografico, morfometrico e geomorfologico ha consentito di motivare l'ingente presenza di sbarramenti di difesa idraulica e di opere di derivazione; in particolare si è sottolineata la manifesta tendenza allo sfruttamento idroelettrico dei salti artificialmente realizzati dalle briglie; tendenza che poi trova naturale sviluppo nell'eco-compatibilizzazione dei manufatti.

Di fondamentale importanza per lo sviluppo del progetto è stata la descrizione idrologica del bacino in primis svolta analizzando le serie cronologiche dei dati pluviometrici delle tre stazioni storiche di Tarvisio, Predil e Fusine dalle quali si è evinta la mancanza di comportamenti tendenziali e una sostanziale omogeneità delle precipitazioni ad eccezione della porzione meridionale più piovosa.

Invece sfruttando la serie storica delle misure di portate di Thörl, per similitudine idrologica in rapporto alle aree, criterio validato da un confronto con misure disponibili in regione ed in ogni caso dall'omogeneità idrologica precedentemente individuata, è stato possibile elaborare statisticamente le curve di durata delle portate nelle varie sezioni di calcolo per poi selezionarne la media.

Il successivo confronto tra la distribuzione spaziale di questi sbarramenti con quella delle comunità ittiche presenti che deriva da un'analisi storica, dei campionamenti e delle immissioni ittiche, ha consentito di verificare la frammentazione fluviale e di individuare nella trota fario la specie target necessitante di mitigazione mediante corridoi ecologici.

Le sezioni selezionate per l'intervento di ripristino hanno consentito di svolgere uno studio molto eterogeneo perché, pur essendo tutte relative ad impianti idroelettrici, sono profondamente diverse tra loro per contesto, dimensioni e tratto sotteso.

Il calcolo del DMV è stato svolto secondo il metodo Svizzero e quello più recente ed ufficiale del PRTA, in entrambi i casi è stata variata l'ampiezza dell'intervallo di osservazione per la stima delle portate necessarie per il calcolo. Il confronto dei risultati ha dimostrato la sostanziale indipendenza dal periodo di osservazione e la tendenza del metodo Svizzero a tutelare maggiormente i piccoli corsi d'acqua come il rio Bianco ed a essere invece meno cautelativo per aste di maggiori dimensioni come il torrente Slizza; inoltre il metodo del PRTA, consentendo il calcolo della Q_m in maniera semplificata ha permesso nuovamente di verificare la bontà dell'utilizzo della similitudine idrologica.

Tenendo presenti questi risultati si è comunque scelto di assumere come valori di progetto quelli calcolati col PRTA in quanto obbligatori secondo la vigente normativa.

Facendo riferimento alla principale manualistica del settore e analizzando accuratamente gli sbarramenti e le loro condizioni al contorno si è deciso che, per le sezioni giudicate prioritarie di intervento, il progetto di ripristino preveda la realizzazione di due chiuse per pesci sugli sbarramenti situati lungo il torrente Slizza e di una *fish ramp* sul rio Bianco per un costo totale stimato di circa 1.183.943 €.

In particolare sul rio Bianco la soluzione naturalistica è stata preferita ad una soluzione tecnica a *vertical slot* ugualmente sviluppata nell'elaborato in quanto il suo unico vantaggio era sostanzialmente quello di essere meno ingombrante.

Come già detto in precedenza la profonda diversità delle sezioni selezionate ha consentito di affrontare un ampio spettro di problematiche; questo, considerando che i vari manufatti del bacino godono di una prassi costruttiva molto consolidata, permette di rendere i risultati del lavoro facilmente trasportabili in altre sezioni del bacino come ad esempio quella della terza centrale di Plezzut, relativa alla presa 497, che è molto simile alle altre studiate sullo Slizza ed è dotata di un passaggio il cui funzionamento è assai incerto.

Seguendo questa logica, a partire dai costi stimati per le opere progettate ed assumendone una variazione lineare in funzione dell'altezza negli sbarramenti, è possibile fare la stima dei costi di un progetto di ripristino che coinvolga tutti gli sbarramenti non ancora ittio-compatibilizzati presenti nel bacino idrografico.

Pertanto, ipotizzando l'utilizzo di chiuse solo per altezze superiori a 5 m ed un equo utilizzo delle soluzioni tecniche e naturalistiche nei restanti casi, si stima che la spesa per il ripristino della continuità ecologica nel bacino del torrente Slizza attraverso la realizzazione dei passaggi per pesci sia di circa 29.212.428 € ovvero dell'ordine dei 29 milioni di euro.

Lo studio approfondito di questi manufatti e l'iter progettuale seguito hanno dimostrato la forte interdisciplinarietà che li caratterizza e che rende molto più importante del dimensionamento in senso stretto la considerazione dei vari aspetti "accessori" del progetto.

Tra questi risulta doveroso sottolineare gli aspetti biologici considerati per calcolare le capacità natatorie della trota fario target e verificarne la compatibilità coi vincoli imposti nella comune pratica, il posizionamento che in tutti i casi ha portato a preferire il lato della presa, l'integrazione le altre opere, il paesaggio e soprattutto la manutenzione ed il monitoraggio di efficienza.

Queste considerazioni fanno sì che, nonostante alla progettazione dei passaggi per pesci possano sicuramente giovare gli sviluppi metodologici quali la modellistica numerica e la nascita di software dedicati, si avrà sempre a che fare con un manufatto il cui funzionamento resta incerto sino alla sua sperimentazione in sito che ne può decretare necessità di modifiche migliorative.

Pertanto, è ovvio considerare che l'unica validazione possibile per la soluzione proposta consiste in una sperimentazione in sito in quanto, in assenza di questa, si ereditano tutte le critiche che coinvolgono questi manufatti.

Proprio in quest'ottica, per ciascuna opera progettata nell'elaborato sono stati sviluppati i punti fondamentali dei piani di monitoraggio e di manutenzione; in particolare sono state definite le grandezze e le componenti oggetto di monitoraggio tra le quali, specie per quella biologica, sono state proposte alcune soluzioni tecniche da adottare per verificare l'efficienza dell'opera.

Anche in questo caso la proposta risulta piuttosto variegata e quindi si può ipotizzare che in essa vi siano soluzioni valide e adottabili anche per futuri progetti di ripristino.

In particolare, per il completo ripristino della continuità in tutte le aste del bacino che, come detto in precedenza, si può immaginare compiuto con opere simili a quelle progettate nell'elaborato di tesi, è possibile ipotizzare un piano di monitoraggio biologico a scala di bacino; questo ad esempio può essere compiuto prevedendo, oltre ai campionamenti diretti, l'ispezione visiva nei manufatti speciali e, posizionando adeguatamente le antenne, un radio-tracking distribuito su tutti i passaggi tradizionali.

Naturalmente entrambi i piani, di monitoraggio e di manutenzione, possono incidere notevolmente sui costi; tuttavia, contestualmente allo sforzo necessario per la realizzazione dei passaggi, la loro spesa è sempre giustificabile in quanto necessaria a garantirne e/o migliorarne l'efficienza.

RINGRAZIAMENTI

Giunto al termine di questo percorso accademico ritengo sia un dovere ringraziare tutti coloro che mi hanno permesso di raggiungere tale obiettivo.

Un grazie al Prof. Giorgio Verri per avermi proposto un argomento di tesi molto interessante, per la disponibilità, la competenza, l'entusiasmo che mi ha sempre mostrato durante la stesura ed anche per avermi introdotto a tutti i professionisti che mi hanno aiutato.

Tra questi ringrazio in primis l'Ing. Sara Freschi che si è dimostrata sempre disponibile, incoraggiante e propositiva per lo sviluppo della tesi.

Un sincero grazie alla Prof.ssa Pizzul per le preziose indicazioni senza le quali non avrei sicuramente potuto affrontare la tesi in modo interdisciplinare; in tal senso ringrazio anche il Dott. Rucli per le rigorose puntualizzazioni che mi ha sempre gentilmente fornito.

Grazie al Geom. Deana per aver messo a disposizione la sua esperienza e professionalità.

In realtà, più che per i dati ed il tempo dedicatomi negli incontri, mi sento in dovere di ringraziare tutti i precedenti per l'estrema cortesia che mi ha veramente dato un'importante iniezione di fiducia per il futuro.

Ringrazio di cuore tutta la mia famiglia: Babbo, Mamma, Domenico, Laura, Maria e Leo...*il mio universo, il mio universo è in voi.*

Ovviamente intendo inclusi tutti i miei Zii, Zie, cugini, cugine e mia nonna Nazzarena, grazie a tutti!

Un saluto anche a Yorick, bullo e gladiatore assai valente.

Tante grazie a tutti i miei amici, quelli d'infanzia, i più recenti ed i miei fantastici coinquilini; tutti avete contribuito a questo traguardo.

BIBLIOGRAFIA

- Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S. e Boyce G. M. - Slope Stability and Stabilization Methods. New York, John Wiley & Sons, 2002, pp.102-159.
- AIAD: gruppo di lavoro SALMONIDI - I salmonidi italiani: linee guida per la conservazione della biodiversità. Parma, febbraio 2013.
- Alaska Department of Fish and Game and Alaska Department of Transportation - Memorandum of Agreement Between Alaska Department of Fish and Game and Alaska Department of Transportation and Public Facilities for the Design, Permitting, and Construction of Culverts for Fish Passage. Juneau (Alaska), Alaska Department of Fish and Game, Alaska Department of Transportation, 2001.
- Annear, T., Lobb D., Coomer C., Woythal M., Hendry C., Estes C. e Williams K... International Instream Flow Program Initiative: A Status Report of State and Provincial Fish and Wildlife Agency Instream Flow Activities and Strategies for the Future, Final Report for Multi-State Conservation Grant Project., Cheyenne (WY), Instream Flow Council, 2009.
- APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici) - "Atlante delle opere di sistemazione fluviale". Manuali e linee guida n.27: pp.1-171, 2003.
- APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici) - "IFF 2007: Indice Di Funzionalità Fluviale", Manuali e linee guida: pp.76-80, 2007.
- Armstrong G.S., Aprahamian M.W., Fewings G.A., Gough P.J., Reader N.A. e Varallo P.A. - Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales. Bristol, Environment Agency, 2010: pp.1-369.
- Arthington A. H., Tharme R. E., Brizga S. O., Pusey B. J. e Kennard M. J. - "Environmental flow assessment with emphasis on holistic methodologies". Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries (2), Sustaining Livelihoods and Biodiversity in the New Millennium, Phnom Penh (Cambogia), 11 - 14 febbraio 2003: pp. 37-66.
- Autorità di Bacino di Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave e Brenta-Bacchiglione e Autorità di Bacino dell'Adige, Piano di gestione dei bacini idrografici delle alpi orientali: 12 - Bacino del torrente Slizza.
- Baiocchi A. - Interazioni tra acque sotterranee e superficiali e problematiche connesse con la determinazione del deflusso minimo vitale: i casi dei fiumi Marta e Mignone (Lazio). Tesi di dottorato di ricerca in Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche, Viterbo, Università degli studi della Tuscia, 2007: pp.7-53.
- Beach M. H - Fish pass design — "Criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers". Fisheries Research Technical Report 78: pp.1-34, 1984.
- Bell M. C. - Fisheries handbook of engineering requirements & biological criteria. Fish Passage Development and Evaluation Program, Corps of Engineers, North Pacific Division, 1986: pp.290
- Benini G. - Sistemazione idraulico forestali. Torino, UTET, 1990: pp.1-284.
- Bertoli M., Gentili G., Romanò A., Deana A., Marin A., Moro G. A. e Pizzul E. - "Analisi della struttura delle comunità ittiche in relazione a cambiamenti di portata dovuti a rilasci da prese idroelettriche presenti nell'alto corso del fiume Tagliamento". Italian Journal of Freshwater Ichthyology (3): pp.37-43, 2016.

- Bischetti G. B., D'Agostino V. - "Sistemazioni Idraulico Forestali: Indirizzi per gli interventi". Quaderni della Ricerca n.116: pp.1-75, giugno 2010.
- Brown, J. J., Limburg, K. E., Waldman, J. R., Stephenson, K., Glenn, E. P., Juanes, F. & Jordaan, A. - "Fish and hydropower on the U.S. Atlantic coast: Failed fisheries policies from half-way technologies". *Conservation Letters* 6: 280-286, 2013.
- Bruno S. - Pesci e crostacei d'acqua dolce. Firenze, Giunti, 1987, pp.1-288.
- Buda Dancevich M., Paradisi S., Sillani L. e Specchi M. - "Osservazioni preliminari sulla distribuzione di alcune specie ittiche del Friuli Venezia Giulia". Quaderni ETP n.5: pp.1-24, 1982.
- Cadez L. - "La situazione dell'idroelettrico in Friuli Venezia Giulia e un excursus sugli impatti ambientali". *Ripensare l'idroelettrico*, Preone, 8 giugno 2013: pp.1-5.
- Caravello G., Perissinotto E. e Taschera I. - "Analisi delle popolazioni ittiche in relazione all'ambiente e proposte di gestione delle acque correnti nella provincia autonoma di Trento". Biologia ambientale, n.14: pp.75-84, 1986.
- Carling P. A. e Dobson J. H. - Fish Pass Design and Evaluation: Phase 1. Bristol, National Rivers Authority, 1992: 1-199.
- Carulli G.B. - Note illustrative della Carta geologica del Friuli Venezia Giulia 1:150.000. SELCA, Firenze, 2006: pp.1-29.
- Casadei S. e Manciola P. (1990) - "Flow duration curve estimation". *Proceedings of the 21st Annual Pittsburgh Conference on Modeling and Simulation*, Pittsburgh, 3-4 maggio 1990, 4: pp.1467-1472.
- Casagrande G. - "Slizza basin: studies for hydro-geological risk management in a small alpine basin and their consequences or applicability on trans-national planning". *Danube FLOODRISK*, Trento, 3-4 ottobre 2011: pp.1-27.
- Cassinari, E., Miccoli E. e Specchi. M. - "Indagini su alcuni laghi del Friuli Venezia Giulia. Osservazioni sui laghetti di Fusine in Val Romana (Tarvisio)". Gortania n.1: pp.133-146, 1979.
- Catanese G. - Raccolta dei dati di utilizzo delle acque nella regione Friuli Venezia Giulia e loro organizzazione in un sistema informativo territoriale regionale, al fine di valutare la disponibilità idrica, i fabbisogni attuali ed i possibili "impatti" esercitati dai prelievi superficiali. Tesi di dottorato di ricerca in geomatica e sistemi informativi territoriali, Trieste, Università degli studi di Trieste, A.A. 2008/2009.
- Chow V.T, Maidment D., Mays L. - Applied Hydrology. McGraw-Hill, 1988: pp.350-400.
- Church M.A. - "Pattern of instability in a wandering gravel bed channel". Modern and Ancient Fluvial Systems, IAS, pp. 169-180, 1983.
- Clay C. H. - Design of fishways and other fish facilities. Londra, Lewis, 1995: pp. 248
- Consuegra D. e Musy A. - "Basses eaux ou etriages: definition, utilisation et analyse", *Conferenza di idrologia al Politecnico federale di Zurigo*, 13 aprile 1989: pp.1-31.
- Crosa G., Cotta R., Amusino M. e Marchetti R. - "Determinazione delle portate minime necessarie per la tutela della vita acquatica in corsi d'acqua soggetti a derivazioni o ritenute". Acqua-Aria n.7: pp. 850-893, 1988.
- Crovatto K. - "Ricerca metodologica ed esperienze operative". Rapporti tecnici dell'Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia - Linea operativa: Deflusso Minimo Vitale dei corsi d'acqua: pp.1-34, febbraio 2006.

- Crovatto K. - “Scale di rimonta: una corretta progettazione per favorire il passaggio dei pesci”, Pesca e Ambiente – Notiziario ETP : pp.11-13, luglio 2008.
- Da Deppo L., Datei C. e Salandin P. - Sistemazione dei corsi d’acqua. Padova, Libreria Internazionale Cortina, 2004: pp.1-793.
- D'Agostino V. - “Le opere di idraulica torrentizia per il controllo dei sedimenti”. *Le sistemazioni idraulico-forestali per la difesa del territorio*, Saint Vincent (AO), 27 Ottobre 2006. Pubblicato nella collana Quaderni di Idronomia Montana n.26: pp.231-250, Castrolibero (CS), Nuova Editoriale Bios, 2006.
- ESHA (European Small Hydropower Association) - Guida alla realizzazione di un piccolo impianto. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 2007.
- Distretto idrografico delle alpi orientali – Aggiornamento 2015-2021 del Piano di gestione delle acque. (2): pp.1 – 79, marzo 2016.
- Distretto idrografico delle alpi orientali – Piano di gestione dei bacini idrografici delle alpi orientali, 2010.
- Docampo L, De Bikuna B.G. 1993 (/1995). “The Basque method for determining instream flows in northern Spain”. *Rivers* 4(4): pp.292-311, 1993/1995.
- Dreossi P. - Studio del bacino idrografico del torrente Slizza finalizzato alla valutazione dei parametri di deflusso minimo vitale. Tesi di diploma universitario in Ingegneria dell’ambiente e delle risorse, Udine, Università degli studi di Udine, A.A. 1996/1997.
- European Commission - “Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive”. Guidance Document n.31: pp.1-108, 2015.
- FAO e DVWK - Fish passes – Design, dimensions and monitoring. Roma, FAO e ONU, 2002.
- Ferri M. - “Formazione ed aggiornamento per la progettazione di passaggi per pesci, 1984-2002”. Biologia Ambientale 18 (1): pp. 93-96, luglio 2004.
- Ferri M., Pini Prato E., Comoglio C. e Marmulla G. – “La progettazione dei passaggi per pesci: il contributo italiano nella nuova commissione F.A.O. Working Party On Fish Passage Best Practices”. Studi Trentini Scienze Naturali, 87: pp.33-37, 2010.
- FISRWG - Stream corridor restoration: principles, processes and practices, 1998.
- Forneris G., Merati F., Pascale M. e Perosino G. C. - “Revisione ed aggiornamento della metodologia dell’Indice Ittico (I.I.)”. Biologia Ambientale 25 (1): pp.49-62, 2011.
- Forneris G., Pascale M., Perosino G. C. e Zaccara P. - Manuale di descrizione delle metodologie utili alla valutazione del rischio di mancato conseguimento degli obiettivi di qualità dei corsi d’acqua interessati da progetti di captazioni/ritenzioni idriche (bacino del fiume Po). Torino, CREST snc, 2012.
- Forneris G., Pascale M., Perosino G.C., Zaccara P. - Lezioni di idrobiologia (le acque continentali). Torino, C.R.E.S.T. snc, 2008: pp.138-145.
- Forneris G., Perosino G. C., Pintor P. N. - Conseguenze delle captazioni idriche sugli ecosistemi acquatici. Situazione attuale e proposte di regolamentazione per il territorio piemontese, Torino, Assessorato Caccia e Pesca della Provincia di Torino, 1990.

- Fraser J. C. – “Suggestions for developing flow recommendations for in-stream uses of New Zealand streams”. Water and Soil Miscellaneous Publication 6, Wellington, Ministry of Works and Development, 1978.
- Gasparo F. - “Note sul fenomeno carsico nel massiccio del monte Canin (Alpi Giulie Occidentali, Italia)”. *Atti del Convegno Internazionale sul carso di alta montagna*, Imperia, 30 aprile-4 maggio 1982: pp. 427-435.
- Gebler R. J. – Hydraulische und konstruktive Anforderungen an Blockrampen zur Herstellung der biologischen Durchgängigkeit. Zurigo, ETH Zurich, 2007.
- Gosso F., Pizzul E., Specchi M. e Vanzo S. - “Osservazioni sull’influenza delle opere trasversali nella distribuzione della fauna ittica del bacino dell’Isonzo (Friuli Venezia Giulia)”. Biologia Ambientale n.1: pp.3-12, 1998.
- GRAIA srl - “Interventi idraulici ittocompatibili: linee guida”. Quaderni della Ricerca n.125: pp.1-216, gennaio 2011.
- Gridelli E. - Pesci d’acqua dolce della Venezia Giulia. Udine, Del bianco e figlio editore, 1936: pp.7-140.
- Grimaldi S., Petroselli A., Nardi F., Tauro F. - “Analisi critica dei metodi di stima del tempo di corrivazione”, *XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*. Palermo, 14-17 settembre 2010: pp.1-6.
- Gustard A. - Flow regimes from experimental and network data. Wallingford, Eng. Institute of Hydrology, 1989: pp.1-344.
- Honsig-Erlenburg W. e Kugi K. - Abstract concerning the distribution of the autochthonous brown trout in Carinthia/Austria. EAA (European Anglers Alliance), Bruxelles: pp.1, 2012.
- Hotchkiss R.H. e Frei C.M. – “Design for fish passage at roadway-stream crossings: synthesis report”. Report No. FHWA-HIF-07-033: pp.53-54, June 2007. idroelettrico, 2007.
- Jowett I. G. – “Instream flow methods: a comparison of approaches”. Regulated rivers: research & management 13: pp. 115–127, 1997.
- Katopodis C. - Introduction to fishway design, Winnipeg (Canada), gennaio 1992: pp.1:68.
- Larinier M. – “Baffle fishways”. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: pp.83-101, 2002.
- Larinier M. – “Biological factors to be taken into account in the design of fishways, the concept of obstructions to upstream migration”. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: pp.28-38, 2002.
- Larinier M. – “Fishways - General considerations”. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: pp.21-27, 2002.
- Larinier M. – “Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs”. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 56: pp.1-39, 1983.
- Larinier M. – “Location of fishways”. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: pp.39-53, 2002.
- Larinier M. – “Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels”. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: pp.54-82, 2002.

- Larinier M. – “Upstream and Downstream Fish Passage Experience in France”. Fish migration and Fish bypasses. 4: pp.127-145, 1998.
- Marcolin F. - Il Barcoding a supporto dell'analisi tradizionale della dieta: il caso della lontra europea (Lutra lutra, L. 1758) nel tarvisiano. Tesi di laurea in Biologia ambientale, Trieste, Università degli studi di Trieste, A.A. 2017/2018.
- McKeown B. A. - Fish Migration, Kent (UK), Croom helm, 1984: pp.1:224.
- Mojetta A. - “Notizie dell’ittiofauna Giuliano-Friulana in letteratura”. Quaderni ETP n.8: pp.1-17, 1983.
- Mooney D. M., Holmquist-Johnson C. L. e Broderick S. - Rock Ramp Design Guidelines. Denver, U.S.
- Navarro J. K., McCauley D. J. e Blystra A. R. - “Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) for Modelling Fish Habitat”. Journal of Water Management Modeling R176-01: pp.1-22, 1994.
- OFEFP (Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage) - Débits résiduels convenables - Comment les déterminer ?. Berna, OFEFP, 200: pp.1-144.
- Özdem A. D., Karaca Ö., Erku M. K. – “Low flow calculation to maintain ecological balance in streams”. International congress on river basin management, Adalia (Turchia), 22- 24 March 2007, chap.2.32.
- Pagliara S. e Chiavaccini P. - “La sistemazione idraulica con interventi a basso impatto: le rampe in massi”. Convegno AIPIN "L'ingegneria naturalistica in ambiente mediterraneo". Pisa, 22 aprile 2004: pp.1-10.
- Piccinini A., Nonnis Marzano F. e Gandolfi G. - “Il Salmerino alpino (*Salvelinus alpinus*): prove storiche della sua introduzione sul territorio italiano”. Biologia Ambientale 18 (1): pp. 259-264, luglio 2004.
- Pini Prato E. - Le scale di risalita per la Tutela del patrimonio ittico, progetto di intervento per i corsi d’acqua della Val di Sieve. Firenze, Provincia di Firenze, 2001.
- Pini Prato E., Gianaroli M. e Comoglio C. – Linee guida per il corretto approccio metodologico alla progettazione dei passaggi per pesci. Provincia di Modena. Provincia di Modena, 2006: pp.1-135.
- Pizzul E., Bertoli M., Calligaris M., Moro G. A. e Tibaldi E. – “Analisi dell’alimentazione della trota fario (*Salmo [trutta] trutta*) in relazione alla disponibilità trofica in un torrente alpino del Friuli Venezia Giulia”. Studi Trentini di Scienze Naturali 87: pp.15-20, 2010.
- Politecnico di Torino, Università degli Studi di Torino e Provincia di Torino - Linee guida per la progettazione e verifica dei passaggi per pesci. Torino, regione Piemonte, 2011.
- Porcher J.P. e Larinier M. – “Designing fishways, supervision of construction, costs, hydraulic model studies”. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: pp.156-165, 2002.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Prezzario regionale dei lavori pubblici. Anno 2016.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Progetto di piano stralcio per l’assetto idrogeologico dei bacini di interesse regionale: Relazione tecnica, Trieste, 2014, p.1-74.
- Regione Piemonte e Provincia di Torino - Manuale per il censimento delle opere in alveo. Torino, settembre 2008.
- Regione Toscana e Università di Firenze - Linee guida per la progettazione, valutazione tecnica e pianificazione di passaggi artificiali per pesci. Firenze, regione Toscana, 2009.

- Reiser D. W., Wesche T. A., Estes C. - "Status of instream flow legislation and practise in North America". Fisheries 14(2): 22 ÷ 29, 1989.
- Renoldi M., Torretta R. e Vismara R. - "Gestione ecologica dei fiumi: il problema della portata minima vitale". Ingegneria Ambientale 22 (10), 1995.
- Sanz-Ronda F.J., Bravo-Córdoba F.J., Fuentes-Pérez J.F. e Castro-Santos T. - "Ascent ability of brown trout, *Salmo trutta*, and two Iberian cyprinids - Iberian barbel, *Luciobarbus bocagei*, and northern straight-mouth nase, *Pseudochondrostoma duriense* - in a vertical slot fishway". Knowledge Management Aquatic Ecosystem 417: pp.1-10, 2016.
- Servizio idrologico e geologico nazionale della Confederazione Svizzera - "Le débit d'étiage Q₃₄₇", Comunicazioni idrologiche n.27: pp.1-134, 1999.
- Smakhtin V.U. - "Low flow hydrology: a review". Journal of Hydrology n.240: pp.147-186, 2001.
- Specchi M. - "Il Minimo Deflusso Vitale (M.D.V.)". Pesca e Ambiente - Notiziario ETP n.335: pp.18-20, novembre 2010.
- Specchi M., Battistella S., Amirante G.A., Sigalotti G.M., Tibaldi E. e Pizzul E. - Il recupero della trota marmorata nel Friuli Venezia Giulia. ETP del Friuli Venezia Giulia, 2010.
- Stoch F., Paradisi S. e Buda Dancevich M. - Le zonazioni ittiche del Friuli Venezia Giulia. con particolare riguardo al problema della "zona a marmotata. Udine, OIKOS - Studi ambientali s.c.r.l., 1996.
- Sunwater - SunWater Owned Fishways Portfolio, Queensland, 2010.
- Tellini A. - "I pesci d'acqua dolce e la pesca nel Friuli". Annali del R. Istituto tecnico di Udine 8 (2): pp.3-109, 1895.
- Tennant D. L. - "Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources". Fisheries 1(4): pp.6-10, 1976.
- Tharme R. E. - "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers". River Research and Application n.19: pp.397-441, 2003.
- Thorncraft G. e Harris, J.H. - "Fish passage and fishways in New South Wales: A status report". Technical Report prepared by NSW fisheries for Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology 1/2000, 2000.
- Tortonese E. - "A proposito di Pesci migratori: i vari tipi di spostamenti e la relativa terminologia". Bolletino di zoologia n.16: pp.1-8, 1949.
- Tortonese E. - "I salmonidi italiani". Quaderni ETP n.2: pp.1-11, 1980.
- Travade F. e Larinier M. - "Fish locks and fish lifts". Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364: pp.102-118, 2002.
- UN World Commission on Environment and Development - Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford, Oxford University Press, 1987: pp. 1-41.
- Vannote R.L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R. e Gushing E. - "The river continuum concept". Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37 (1): pp.130-137, 1980.

- Verri G. – Dispense del corso di Idrologia tecnica. Dipartimento politecnico di ingegneria e architettura, Università degli studi di Udine.
- Veza P., Zanin A. e Parasiewicz P. – “Manuale tecnico-operativo per la modellazione e la valutazione dell'integrità dell'habitat fluviale”. Manuali e Linee Guida 154: pp.1-46, maggio 2017.
- Videler J. - Fish swimming. Londra, Chapman & hall, 1993: pp.260.
- Vogel, R.M. e Fennessey N.M. - “Flow duration curves I: New interpretation and confidence intervals”. Journal of Water Resources Planning and Management 120 (4): pp. 485-504, luglio 1994.
- Wasson J.G., Garcia Bautista A., Chandesris A., Pella H., Armanini D.G., Buffagni A. - “Approccio delle Idro-Ecoregioni Europee e tipologia fluviale in Francia per la direttiva quadro sulle acque (2000/60/EC)”. Notiziario dei metodi analitici n.1: pp.20-32, dicembre 2006.
- Wood P. J., Hannah D. M. e Sadler J. P. - Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future. New York, John Wiley & Sons, Inc, 2008: pp.1-480.
- Zalewski M. “Ecohydrology”. In: Gliński J., Horabik J., Lipiec J. “Encyclopedia of Agrophysics”. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht, 2011.
- Zerunian S. - “Pesci delle acque interne d'Italia”. Quaderni di conservazione della natura, n.20: pp.1-255, 2002.
- Zhou, Y. - “The swimming behaviour of fish in towed gears; a re-examination of the principles”. Scott. fish. Work. Pap. of the Department. Agric. fish. Scotl., (4): pp.55 1982.