# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

# Modellazione dell'habitat fluviale nei tratti sottesi dalle derivazioni a scopo idroelettrico della Compagnia Valdostana delle Acque



Relatore

Prof. Paolo Vezza

Co-relatore

Ing. Giovanni Negro

**Candidato** Erika Desiderio

Anno accademico 2020/2021

# Sommario

Indice delle figure	III
Indice delle tabelle	X
Estratto	XIII
Abstract	XV
1. Introduzione	1
2. La modellazione dell'habitat fluviale	3
2.1. Contesto normativo	4
2.2. Micro-Meso scala	5
2.3. Metodologia MesoHABSIM	10
2.3.1. Descrizione dell'habitat fluviale	11
2.3.2. Modelli di idoneità dell'habitat	23
2.3.3. Modelli di variazione spaziale e temporale dell'habitat	28
2.4. Software SimStream	32
2.4.1. Formato dei dati di input	32
2.4.2. Formato dei dati di output	38
3. Definizione dei deflussi ecologici in Valle d'Aosta	49
3.1. Caratterizzazione idro-morfologica	53
3.2. Specie target	54
3.2.1. Marble trout	56
3.2.2. Brown trout	57
3.2.3. Vairone	59
3.2.4. Bullhead	60
4. Elaborazione e standardizzazione dati idro-morfologici	62
4.1. Verifica della classificazione delle UMI	63
4.2. Verifica della coerenza interna dei dati di profondità, velocit misurati in campo	
4.3. Verifica della variazione della disponibilità di habitat	72
5. Applicazione dell'indice di Integrità dell'habitat – Fiume Do	
5.1. Centrale idroelettrica di Quincinetto	78
5.2. Dati di Input per il calcolo delle relazioni Habitat/Portata	79
5.2.1. Rilievo batimetrico	80

5.2.2.	Rilievo topografico	84
5.2.3.	Modellazione bidimensionale HEC-RAS	85
5.2.4.	Estrazione dei dati di profondità, velocità e substrato	91
5.3. D	ati di input per il calcolo dell'IH	92
5.3.1.	Serie di reference	92
5.3.2.	Scenari alterati	97
5.4. Disc	cussione dei risultati	99
Conclusion	ni	105
Bibliografi	a	107
Indice dei	simboli	110
Appendice	1 – Modelli di idoneità delle specie	112
Trota fa	rio (Brown Trout)	112
Trota ma	armorata (Marble Trout)	114
Vairone		116
Scazzon	e (Bullhead)	118
Appendice	2 – Codici Matlab per l'elaborazione dei dati	119
Appendice	$3-Risultato dell'elaborazione dei dati per i fiumi del caso % \left\{ 1,2,,n\right\}$	studio128
1. AR'	ΓANAVAZ	131
2. AY	ASSE	133
3. BU'	ΓHIER	135
4. BU'	THIER OLLOMONT	137
5. CRI	EST	139
6. DO	RA BALTEA (Aosta)	141
7. DO	RA BALTEA (La Salle)	143
8. DO	RA BALTEA (Quincinetto)	145
9. DO	RA DI RHEMES	147
10. E	VANCON (Brusson)	149
11. E	VANCON (Isollaz)	151
12. G	RAINES	153
Ringrazian	nenti	156

# Indice delle figure

Fig. 2.1	Le tappe del percorso di pianificazione promosse dalla Direttiva Quadro Acque. (www.minambiente.it).	4
Fig. 2.2	Scelta della scala spaziale di applicazione del modello (Micro o Meso scala). (Parasiewicz & Dunbar, 2001).	
Fig. 2.3	Applicazione di un modello PHABSIM a micro-scala per la descrizione dell'habitat nel torrente Albedosa (AL). Fase A: Schematizzazione dell'alveo bagnato in un mosaico di celle per ogni valore di portata. Fase B: Analisi delle curve di preferenza per la specie Vairone (profondità e velocità del tirante idraulico). Fase C: Definizione dell'andamento dell'habitat disponibile al variare delle condizioni di deflusso, considerando la totalità delle celle. (Vezza, 2010).	7
Fig. 2.4	Metodologia MesoHABSIM con pool rapid e riffle per un tratto del fiume Dora di Rhemes. (Elaborazione propria).	8
Fig. 2.5	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 (modificato rispetto a Parasiewicz, 2007; Parasiewicz et al., 2013). (Manuale 154/17, ISPRA)	11
Fig. 2.6	Estratto dell'approccio gerarchico della scala del bacino fino alla scala delle unità morfologiche. (Vezza et al., 2017):	12
Fig. 2.7	Treppiedi fotografico, telemetro laser rangefield modello 360 R della marca Trupulse e bussola tradizionale utilizzata per la calibrazione del telemetro. (Web).	13
Fig. 2.8	Computer palmare modello FZ-M1 della Panasonic. (Web).	13
Fig. 2.9	Livelli di caratterizzazione del rilievo e le relative unità spaziali. (Manuale 154/17, ISPRA).	14
Fig. 2.10	Esempio della distribuzione casuale e uniforme dei punti in cui effettuare le misure di profondità, velocità e substrato all'interno di ogni unità. (Vezza et al. 2017).	18
Fig. 2.11	Finestra di avvio del software MapStream su QGIS (Web).	21
Fig. 2.12	Misurazione della velocità con il correntometro elettromagnetico (modello OTT MF PRO) e suddivisione della sezione dell'alveo in segmenti di lunghezza $d_i$ per la misura di portata. (Manuale	_1
	154/17, ISPRA).	22

Fig. 2.13	Tabella attributi e corrispondente mappa georiferita (software	
	GIS) della presenza per la specie adult Brown trout sul fiume	
	Artanavaz (Valle d'Aosta), relativamente a un valore di portata	
	pari a 0.43 m³/s. Le UMI non idonee alla presenza della specie	
	target sono quelle la cui cella nella colonna PROB è vuota.	
	(Elaborazione ottenuta da SimStream).	24
Fig. 2.14	Tabella attributi e corrispondente mappa georiferita (software	
	GIS) dell'abbondanza per la specie adult Brown trout sul fiume	
	Artanavaz (Valle d'Aosta), relativamente a un valore di portata	
	pari a 0.43 m³/s. Le UMI non idonee all'abbondanza della specie	
	target sono quelle la cui cella nella colonna PROB è vuota.	
	(Elaborazione ottenuta da SimStream).	25
Fig. 2.15	Esempio di curve di preferenza per la specie adult Brown Trout	
	(modello presenza/assenza), derivanti da un'estrapolazione di tipo	
	Random Forests. (Software SimStream).	26
Fig. 2.16	Mappa di idoneità dell'habitat per la specie adult Brown trout sul	
	fiume Artanavaz (Valle d'Aosta), relativamente a un valore di	
	portata pari a 0.43 m³/s. (Elaborazione ottenuta da SimStream).	27
Fig. 2.17	Relazione Habitat/Portata per il fiume Artanavaz (Valle d'Aosta)	
	in riferimento a 4 specie ittiche (adult e juvenile Brown trout, adult	
	e juvenile Marble trout) e 3 condizioni di portata (260 l/s, 430 l/s,	
	1000 l/s). (Elaborazione ottenuta con il software SimStream).	29
Fig. 2.18	Classificazione dell'integrità dell'habitat attraverso l'indice IH.	
	(Vezza et al., 2017).	32
Fig. 2.19	Finestra di avvio di SimStream. (Elaborazione propria).	33
Fig. 2.20	Step 1: Caratterizzazione del sito. (Elaborazione propria).	33
Fig. 2.21	Esempio di corretta formattazione dei dati all'interno della tabella	
	attributi. A titolo di esempio, si riportano solo tre UMI relative al	
	rilievo a portata 430 l/s sul fiume Artanavaz. (Elaborazione	
	propria).	34
Fig. 2.22	Esempio di corretta formattazione dei dati dei descrittori	
	ambientali all'interno dei file di testo. A titolo di esempio, si	
	riportano solo tre UMI relative al rilievo a portata 430 l/s sul fiume	
	Artanavaz. (Elaborazione propria).	35
Fig. 2.23	Step 4: Scelta delle specie da analizzare tramite i menu a tendina,	
<b>T</b>	e del loro rispettivo stadio vitale. (Elaborazione propria).	37
Fig. 2.24	Step 5: Selezione degli output richiesti e upload del progetto.	
F: 225	(Elaborazione propria).	38
Fig. 2.25	Mappa georiferita del mosaico di unità idromorfologiche del fiume	
	Artanavaz, in condizioni di deflusso pari a 0.43 m³/s. (Prodotto	
	tramite il software SimStream).	39

Fig. 2.26	Rappresentazione della distribuzione in classi statistiche dei dati di profondità, velocità e substrato. I valori si riferiscono a una portata di 0.43 m³/s sul fiume Artanavaz (rilievo del 2010). (Prodotto tramite il software SimStream).	40
Fig. 2.27	Mappa di idoneità dell'habitat per la specie adult Brown trout sul fiume Artanavaz, in condizioni di portata pari a 0.43 m³/s. (Prodotto tramite il software SimStream).	41
Fig. 2.28	Dati di area disponibile, idonea e ottimale per le specie in esame (Brown Trout e Marble Trout), considerando tutti gli stadi vitali (Adult e Juvenile). I valori si riferiscono a una portata di 0.43 m³/s sul fiume Artanavaz (rilievo del 2010). (Prodotto tramite il software SimStream).	42
Fig. 2.29	Relazioni habitat/portata e relativi dati numerici da cui si ottengono per interpolazione le curve. I valori si riferiscono a una portata di 0.43 m³/s sul fiume Artanavaz (rilievo del 2010) e le specie target considerate sono la Brown Trout e la Marble Trout, agli stadi vitali adulto e giovane. (Prodotto tramite il software	
Fig. 2.30	SimStream). Serie storiche di portata. La serie si riferisce a un estratto del fiume Dora Baltea e ha una lunghezza temporale di 13 anni (dal 2008 al 2020). Si riporta a titolo di esempio un solo scenario di rilascio. (Software SimStream).	43
Fig. 2.31	Serie temporali di habitat relative a uno scenario di rilascio per la specie Marble Trout, stadio vitale giovane. La serie si riferisce a un estratto del fiume Dora Baltea e ha una lunghezza temporale di 13 anni (dal 2008 al 2020). Si riporta a titolo di esempio un solo scenario di rilascio. (Software SimStream).	44
Fig. 2.32	Curve di Durata Sottosoglia, o in inglese UCUT, Uniform Continuous Under Threshold curves) relative al valore soglia AQ97 per la stima dell'indice ITH (formato pdf), per uno scenario di rilascio e per quello di riferimento. Le curve sono relative a un tratto del fiume Dora Baltea e alla specie Marble Trout, stadio vitale giovane. Si riporta a titolo di esempio un solo scenario di rilascio. (Software SimStream).	15
Fig. 2.33	I principali indici e parametri che è necessario calcolare relativamente ad ogni scenario di rilascio, per poter arrivare alla stima dell'indice IH. Si riporta, a titolo di esempio, il valore degli indici per un solo scenario relativo a un tratto del fiume Dora Baltea. (Software Simstream).	45 46
	Danca. (Software Sinsureum).	40

Fig. 2.34	Indice di Integrità ambientale IH in formato pdf per tutti gli scenari proposti. Il colore indica la classe di integrità dell'habitat di appartenenza (vedasi Figura 2.18). I valori dell'indice sono	
	calcolati per un tratto del fiume Dora Baltea. (Software	
Fig. 3.1	SimStream).  I principali fiumi e le relative condotte forzate e prese idroelettriche del territorio valdostano. (CVA).	47
Fig. 3.2	Marble trout. (Web)	50
Fig. 3.3	Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per	56
116. 3.3	la specie Marble trout (stadio vitale adulto), costruito con la tecnica ad apprendimento automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di idoneità della specie vedasi Appendice 1.	57
Fig. 3.4	Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per la specie Brown trout (stadio vitale adulto), costruito con la tecnica ad apprendimento automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di	
	idoneità della specie vedasi Appendice 1.	58
Fig. 3.5	Esemplare di Brown trout adulto. (Web).	58
Fig. 3.6	Esemplare di Vairone in fiume. (M. Makrovcic).	59
Fig. 3.7	Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per la specie Vairone (stadio vitale adulto), costruito con la tecnica ad apprendimento automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di idoneità	
	della specie vedasi Appendice 1.	59
Fig. 3.8	Esemplare di Bullhead. (Kohout, J., Web).	60
Fig. 3.9	Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per la specie Bullhead, costruito con la tecnica ad apprendimento automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di idoneità della specie vedasi	
F: 44	Appendice 1.	61
Fig. 4.1	Diagramma di flusso relativo alle fasi procedurali di elaborazione dei dati. (Elaborazione propria).	62
Fig. 4.2	Diagramma di flusso relativo alla fase decisionale di riclassificazione di ogni UMI per tutti i rilievi. (Elaborazione	
	propria)	64

Fig. 4.3	Mappe di classificazione delle unità idromorfologiche del torrente Graines a portata $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ (a), $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$ (b) e $1.053 \text{ m}^3/\text{s}$ (c). (Elaborazione propria).	
Fig. 4.4	Curve di frequenza cumulata di profondità nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata nel	66
Fig. 4.5	torrente Graines. (Elaborazione propria).  Curve di frequenza cumulata di profondità nelle classi del metodo  MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata del  torrente Graines, dopo la correzione dei dati. (Elaborazione  propria).	67
Fig. 4.6	Curve di frequenza cumulata di velocità nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata del torrente Graines. (Elaborazione propria).	
Fig. 4.7	Frequenza cumulata della tipologia di substrato nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata	69
Fig. 4.8	del torrente Graines. (Elaborazione propria).  Curve di frequenza cumulata della tipologia di substrato nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata del torrente Graines, dopo la correzione dei dati.	70
Fig. 4.9	(Elaborazione propria). Relazione habitat/portata del torrente Graines, ottenuta attraverso 3 rilievi distinti per tutti gli stadi vitali di 2 specie ittiche (Brown Trout e Marble trout). (Elaborazione ottenuta mediante	71
Fig. 4.10	SimStream).  Mappe di idoneità dell'habitat per la specie Juvenile trout alla portata di 0.04 m³/s (a), 0.57 m³/s (b) e 1.053 m³/s (c) per il torrente Graines (Valle d'Aosta), prima della modifica. (Elaborazione propria)	72
Fig. 4.11	propria).  Mappe di idoneità dell'habitat per la specie Juvenile trout alla portata di 0.04 m³/s (a), 0.57 m³/s (b) e 1.053 m³/s (c) per il torrente Graines (Valle d'Aosta), a seguito della modifica. (Elaborazione	74
Fig. 4.12	propria).  Relazione habitat/portata del torrente Graines, ottenuta attraverso  3 rilievi distinti per tutti gli stadi vitali di 2 specie ittiche (Brown  Trout e Marble trout), a seguito della correzione dei dati.	76
E. 4.1	(Elaborazione ottenuta mediante SimStream).	77
Fig. 5.1	Centrale di Quincinetto. (Elaborazione a partire da Google Earth).	78
Fig. 5.2	Opera di sbarramento a Quincinetto. (Elaborazione propria).	79
Fig. 5.3	Raccolta dati di profondità dell'acqua e velocità della corrente tramite correntometro elettromagnetico. (Elaborazione propria).	81

Dispositivo ADP installato su una piattaforma galleggiante che	83
Output forniti dal software RiverSurveyor Live per un tratto del fiume Dora Baltea. Dall'alto si può vedere la rappresentazione del letto del torrente, quindi i valori di profondità misurati sia dal fascio verticale (VB) che dal tracciamento del fondale (BT); a seguire si può osservare il tracciato su una planimetria N-E e nell'ultimo riquadro è visualizzata la griglia di calcolo della velocità media corrente. La portata calcolata è pari a 7 m³/s. (Software RiverSurveyor Live).	84
Drone DJI Mavic 2 Pro utilizzato per il rilievo topografico lungo la Dora Baltea a Quincinetto. (Web).	85
Scatter Plot di calibrazione del modello batimetrico. (Gruppo di eco-idraulica del DIATI).	86
Fenomeno di rifrazione del fascio luminoso tra due mezzi di propagazione con differenti caratteristiche di densità. (University	
of Waikato, 2012). Curva di durata delle portate per il tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto in condizioni di deflusso non alterate. (Elaborazione	87
per tre condizioni di portata (6.5 m3/s, 20 m3/s e 50 m3/s) del tratto	88
Serie storiche di portata del fiume Dora Baltea per il periodo 2018-	90
Centrale di Quincinetto e idrometro di Tavagnasco. (Elaborazione	92 93
Scatter plot e modello di regressione lineare tra le portate di riferimento misurate a Quincinetto e quelle misurate dall'idrometro di Tavagnasco sulla Dora Baltea nel periodo 2018-	95
I Idrogramma della portata di reference relativa al fiume Dora Baltea a Quincinetto per il periodo 2008-2020. (Elaborazione	
	96
fiume Dora Baltea a Quincinetto relativo agli anni 2008-2020.	
(Elaborazione propria).	98
	acquisisce dati di profondità e velocità. (Elaborazione propria).  Output forniti dal software RiverSurveyor Live per un tratto del fiume Dora Baltea. Dall'alto si può vedere la rappresentazione del letto del torrente, quindi i valori di profondità misurati sia dal fascio verticale (VB) che dal tracciamento del fondale (BT); a seguire si può osservare il tracciato su una planimetria N-E e nell'ultimo riquadro è visualizzata la griglia di calcolo della velocità media corrente. La portata calcolata è pari a 7 m³/s. (Software RiverSurveyor Live).  Drone DJI Mavic 2 Pro utilizzato per il rilievo topografico lungo la Dora Baltea a Quincinetto. (Web).  Scatter Plot di calibrazione del modello batimetrico. (Gruppo di eco-idraulica del DIATI).  Fenomeno di rifrazione del fascio luminoso tra due mezzi di propagazione con differenti caratteristiche di densità. (University of Waikato, 2012).  Curva di durata delle portate per il tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto in condizioni di deflusso non alterate. (Elaborazione propria).  Valori simulati di profondità dell'acqua e velocità della corrente per tre condizioni di portata (6.5 m3/s, 20 m3/s e 50 m3/s) del tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto (Software HEC-RAS).  Serie storiche di portata del fiume Dora Baltea per il periodo 2018-2020. (Fonte CVA)  Centrale di Quincinetto e idrometro di Tavagnasco. (Elaborazione a partire da Google Earth).  Scatter plot e modello di regressione lineare tra le portate di riferimento misurate a Quincinetto e quelle misurate dall'idrometro di Tavagnasco sulla Dora Baltea nel periodo 2018-2020. (Elaborazione propria tramite software Matlab).  Il dirogramma della portata di reference relativa al fiume Dora Baltea a Quincinetto per il periodo 2008-2020. (Elaborazione propria).  Range di variazione della portata e idrogramma annuale medio del fiume Dora Baltea a Quincinetto per il periodo 2018-2020.

	di portata (6.5 m3/s, 20 m3/s, 50 m3/s). (Elaborazione ottenuta tramite il software SimStream).	99
Fig. 5.17	Classificazione di idoneità per la specie Marble Trout, stadio vitale	
	giovane, per il tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto. I valori di portata in alveo sono $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , $20 \text{ m}^3/\text{s}$ e $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Elaborazione ottenuta mediante SimStream).	100
Fig. 5.18	Classificazione di idoneità per la specie Marble Trout, stadio vitale adulto, per il tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto. I valori di portata in alveo sono 6.5 m³/s, 20 m³/s e 50 m³/s. (Elaborazione	100
	ottenuta mediante SimStream).	101

Fig. 5.16 Relazioni Habitat/Portata per il tratto del fiume Dora Baltea a

Quincinetto in riferimento a 5 specie ittiche (adult e juvenile Marble trout, adult e juvenile Vairone, adult Bullhead) e a 3 valori

# Indice delle tabelle

Tab. 2.1	Descrizione delle principali unità idromorfologiche del contesto italiano tratta dal Manuale 132/2016 edito dall'ISPRA. (Rinaldi et al. 2016).	1.5
Tab. 2.2	Principali unità di canale in alvei alluvionali a pendenza elevata. (Rinaldi et al., 2016, Vezza, 2010).	15 17
Tab. 2.3	Classificazione dimensionale delle principali tipologie di substrato che possono costituire l'alveo fluviale. (Elaborazione propria).	19
Tab. 2.4	Classificazione delle principali tipologie di riparo (cover) per i pesci presenti nel corso d'acqua. (Elaborazione propria).	19
Tab. 2.5	Elenco e breve descrizione dei descrittori ambientali utilizzati nel modello MesoHABSIM. (Elaborazione a partire da Vezza	2.0
Tab. 2.6	et al., 2017). Risultati numerici della quantità di habitat per il torrente Artanavaz per la specie adult Brown trout alle 3 condizioni di portata: 260 l/s, 430 l/s, 1000 l/s. I valori di $H_d$ in percentuale sono ottenuti dividendo il valore di $H_d$ in $m^2$ (Equazione 2.3) per l'area bagnata misurata alla portata maggiore e	20
Tab. 2.7	moltiplicando poi il risultato per 100. (Elaborazione propria). Esempio di corretta formattazione delle serie storiche di portata. La serie si riferisce a un estratto del fiume Dora Baltea; in realtà, la serie ha una lunghezza temporale di 13 anni (dal 2008 al 2020). (Elaborazione propria).	28
Tab. 3.1	Elenco dei fiumi oggetto di studio del presente elaborato di tesi. (Elaborazione propria).	51
Tab. 4.1	Tipologia di UMI assegnata nelle tre classificazioni e relativi dati di pendenza, dislivello ( $\Delta H$ ), larghezza e lunghezza. (Elaborazione propria).	65
Tab. 4.2	Valori di profondità, velocita e tipologia di substrato modificati all'interno delle unità 11, 15 e 24 del rilievo realizzato sul torrente Graines in condizioni di deflusso pari a 0.57 m <sup>3</sup> /s. I valori in blu sono quelli modificati. (Elaborazione propria).	76
Tab. 5.1	Parametri specifici di base del RiverSurveyor M9. (Web)	83
Tab. 5.2	Valori mensili di rilascio a valle dell'opera di presa per i diversi scenari. (I valori numerici sono i rilasci fissi in m3/s; i valori in % rappresentano la percentuale della portata naturale misurata in condizioni non alterate). (Elaborazione	
	propria).	98

Tab. 5.3 Valori dei parametri e indici usati per la stima dell'IH nei quattro scenari di rilascio analizzati per il fiume Dora Baltea nel tratto a valle della traversa di Quincinetto. (Software SimStream).

## **Estratto**

La presenza di opere idrauliche quali sbarramenti, derivazioni e opere di difesa spondale sottopone i corsi d'acqua a consistenti pressioni idromorfologiche, come la variazione al naturale regime di deflusso, con conseguente frammentazione e perdita di habitat disponibile per le specie acquatiche.

Per pianificare la gestione delle risorse idriche superficiali, definire il rilascio dei deflussi ecologici e valutare gli impatti ambientali generati da tali opere idrauliche, la metodologia MesoHABSIM (Mesohabitat Simulation Model), recentemente adattata al contesto italiano dal Politecnico di Torino, rappresenta uno degli strumenti più efficaci. Caratterizzata da un approccio a meso-scala, in cui i mesohabitat acquatici corrispondono alle unità morfologiche di canale, tale tecnica consente una accurata quantificazione dell'habitat disponibile per le specie autoctone, in funzione delle caratteristiche idro-morfologiche del corso d'acqua.

Il presente lavoro di tesi è svolto nell'ambito della collaborazione tra il Politecnico di Torino e la Compagnia Valdostana delle Acque (CVA), e si pone come obiettivo la valutazione dell'impatto ambientale dalle opere di derivazione a scopo idroelettrico in territorio valdostano. Tale obiettivo è perseguito attuando una modellazione dell'habitat fluviale nei tratti sottesi delle opere di derivazione e facendo riferimento alla fauna ittica locale come target ecologico.

Sono stati analizzati tratti fluviali idro-morfologicamente omogenei situati nei torrenti Artanavaz, Ayasse, Buthier, Buthier Ollomont, Crest, Evancon (a Brusson e a Isollaz), Dora di Rhemes, Graines e nel fiume Dora Baltea (siti di Aosta, La Salle e Quincinetto).

Allo scopo di ottenere le relazioni che legano l'habitat disponibile per la fauna acquatica con la portata defluente, nel presente lavoro di tesi è stato utilizzato il software SimStream, attualmente integrato nella piattaforma QGIS. I dati richiesti in input dal software sono la tipologia di unità morfologica, la profondità dell'acqua, la velocità della corrente, la tipologia di substrato biotico o abiotico, la presenza di zone di rifugio, la pendenza del pelo libero e le serie temporali di portata giornaliera. Per ognuno dei corsi d'acqua oggetto di studio, è stata realizzata un'elaborazione e standardizzazione dei dati idro-morfologici già in possesso del Politecnico di Torino e di CVA e risalenti al primo periodo di sperimentazione del

Deflusso Minimo Vitale, intercorso tra l'anno 2008 e l'anno 2012. Inoltre, all'occorrenza, sono stati effettuati rilievi in campo per l'acquisizione dei dati mancanti e, infine, sono state costruite le relazioni habitat disponibile - portata defluente per tutti i tratti fluviali analizzati.

Come esempio di applicazione, per un tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto, viene descritta nel presente lavoro di tesi la procedura di rilievo fotogrammetrico e batimetrico, utilizzata per la calibrazione di un modello idrodinamico bidimensionale. Mediante la simulazione del campo di moto attraverso il software HEC-RAS, è stato possibile ottenere dati puntuali di velocità e profondità relativi a differenti condizioni di deflusso. Infine, sono state utilizzate le serie storiche di portata disponibili all'idrometro di Tavagnasco e misurate alla presa di Quincinetto per ricostruire l'andamento delle portate medie giornaliere in arrivo alla presa e rilasciate a valle come DMV o a seguito di sfiori. I dati idro-morfologici derivanti dal rilievo in campo eseguito in data 14 dicembre 2020 e delle serie di portata giornaliera ricostruite per la presa di Quincinetto, sono quindi stati inseriti nel software SimStream, per la valutazione e modellazione dell'habitat della fauna ittica.

L'analisi dei risultati ottenuti ha fornito una quantificazione dell'habitat disponibile per la fauna in funzione della portata rilasciata dall'opera di presa valutando i possibili effetti ecologici derivanti dalla riduzione o dall'aumento del Deflusso Minimo Vitale.

## **Abstract**

The presence of hydraulic works such as dams and weirs cause substantial hydromorphological pressures to water courses, such as the alteration of the natural flow regime, leading to fragmentation and loss of habitat for aquatic species.

To plan the management of surface water resources, define the release of ecological flows and evaluate the environmental impacts generated by water abstration, the MesoHABSIM methodology, recently adapted to the mountain context by the Polytechnic of Turin, represents one of the most effective tools. Characterized by a meso-scale approach, in which mesohabitats corresponds in size and location to geomorphic units, this technique provides an accurate quantification of the habitat available for autochthonous species, according to the hydro-morphological characteristics of the river.

This present thesis is carried out within a collaboration project between the Polytechnic of Turin and the Compagnia Valdostana delle Acque (*CVA*). The thesis aims to assess the environmental impact of hydroelectric power plants in the Aosta Valley. This objective is pursued by implementing a habitat modelling in river reaches regulated by hydroelectric power plants and referring to the local fish fauna as an ecological target.

Hydro-morphologically homogeneous river reaches located in the Artanavaz, Ayasse, Buthier, Buthier di Ollomont, Crest, Evancon (in Brusson and Isollaz), Dora di Rhemes, Graines and Dora Baltea (sites of Aosta, La Salle and Quincinetto) were analyzed.

To obtain the relationships that link the habitat available for fish to flow, the SimStream software, currently integrated into the QGIS platform, was used. The data requested in input by the software are the type of morphological unit, the water depth, the current velocity, the type of biotic or abiotic substrate, the presence of cover and shelter areas, the slope of the free surface and the time series of daily flow. For each of the water courses studied, an elaboration and standardization of the hydro-morphological data already available was carried out. The dataset was built during the first ecological evaluation of minimum flow releases, carried out between 2008 and 2012. Furthermore, if necessary, field surveys were carried out

for the acquisition of the missing data and finally the habitat - flow rating curves were built for all the analyzed river sections.

As an example of application, photogrammetric and bathymetric surveys are described in this thesis for a river reach of the Dora Baltea river close to Quincinetto village. A calibration and application of a two-dimensional hydrodynamic model was carried out; by simulating the flow field through the HEC-RAS software, it was possible to obtain precise water depth and flow velocity data for different flow conditions.

Finally, the streamflow time series available at the Tavagnasco gauge station was used to reconstruct the trend of the average daily flow rates before and after the water abstraction at Quincinetto. The hydro-morphological data deriving from the field survey carried out on the 14<sup>th</sup> December 2020 and from the daily flow series reconstructed for the Quincinetto intake, were then entered into the SimStream software, to evaluate and model the habitat for fish fauna.

The analysis of the obtained results provided a quantification of the habitat available for the fauna as a function of the flow released by the intake structure; therefore, it was possible to evaluate the effects derived from the reduction or the increase of the current minimum flow released downstream Quincinetto water abstraction.

## 1. Introduzione

I fiumi sono essenziali alla vita, in quanto forniscono servizi fondamentali per la comunità locale quali approvvigionamento idrico per l'agricoltura, per l'industria e per il consumo umano, produzione energetica, promozione del turismo, pesca sportiva e altre attività, incrementando la qualità della vita stessa.

Tuttavia, solo fiumi sani sono in grado di fornire questi servizi essenziali. La regolazione dei corsi d'acqua e la conseguente costruzione di diffuse opere di derivazione, ha determinato una crescente pressione sugli ambienti fluviali, già vulnerabili. Le molteplici forme di alterazione del naturale regime idrologico o le modificazioni alla morfologia di un corpo idrico inducono, infatti, un deterioramento della qualità e quantità dell'habitat disponibile per le specie acquatiche presenti (Poff and Zimmermann, 2010); occorre, quindi, promuovere un approccio sostenibile che bilanci protezione e sviluppo.

Questo studio si colloca all'interno della sperimentazione sul DMV (Deflusso Minimo Vitale) della Compagnia Valdostana delle Acque (CVA Spa) e della ricerca sulla vocazionalità ittica dei corsi d'acqua da parte del Consorzio Regionale per la Tutela, l'Incremento e l'Esercizio della Pesca della Valle d'Aosta e della Regione Autonoma Valle d'Aosta.

Delle 28 derivazioni a scopo idroelettrico CVA, in questo elaborato vengono discusse e analizzate quelle relative alla Dora Baltea e ai torrenti Artanavaz, Ayasse, Buthier, Buthier Ollomont, Crest, Dora di Rhemes, Evancon e Graines (vedasi *Capitolo 3*).

Per ognuno di questi è stata realizzata dal Politecnico di Torino una raccolta dati in campo al fine di generare una modellazione dell'habitat fluviale tramite la metodologia MesoHABSIM (vedasi *Capitolo 2*), che rispetto ai metodi a microscala, consente una rappresentazione più appropriata ed estesa del corso d'acqua analizzato, include nella modellazione biologica un ampio spettro di descrittori ambientali caratteristici dell'ecosistema acquatico e permette la modellazione del comportamento delle specie biologiche a più vasta scala spaziale e temporale (Vezza et al. 2014).

L'implementazione della stessa è stata effettuata attraverso l'utilizzo di due software: MapStream per la georeferenziazione delle UMI in campo e SimStream per l'ottenimento della quantità di habitat spaziale e temporale disponibile per le specie target (vedasi *Capitolo 2.4*). Essendo una disciplina dell'Ecoidraulica è stato scelto come indicatore biologico la fauna ittica locale, in quanto presenta un alto grado di interazione con le variabili idromorfologiche fluviali e una consistente risposta negativa alle alterazioni del regime idrologico (Poff and Zimmerman, 2010).

I dati sono stati poi rielaborati in tre passaggi successivi (vedasi *Capitolo 4*):

- Verifica della classificazione delle UMI.
- Verifica della coerenza interna nei dati di profondità, velocità e substrato.
- Verifica della variazione della disponibilità di habitat.

L'elaborazione dei risultati di ogni singolo caso studio è presentata nell'*Appendice* 3.

Viene poi analizzato nel dettaglio il caso della Dora Baltea a Quincinetto (vedasi *Capitolo 5*), per cui è stato necessario effettuare una modellazione bidimensionale del regime idrologico tramite il software HEC-RAS al fine di ricavare i dati di profondità e velocità a diversi valori di portata. Tramite l'analisi di tali dati e delle serie storiche di portata del periodo 2008-2020, in parte ricavate tramite un modello di regressione lineare a partire dalle portate in alveo misurate dall'idrometro di Tavagnasco, è stato possibile valutare i possibili effetti ecologici derivanti dalla riduzione o dall'aumento del Deflusso Minimo Vitale nel fiume Dora Baltea a Quincinetto.

## 2. La modellazione dell'habitat fluviale

I modelli di simulazione dell'habitat fluviale permettono di quantificare nel tempo le alterazioni spaziali dei parametri relativi all'idromorfologia locale, al variare della portata defluente.

Tale modellazione rientra nella disciplina dell'Ecoidraulica, per cui pone alla base lo studio delle interazioni dell'ecosistema fluviale, definito in termini di preferenze delle specie che popolano il corso d'acqua, con le caratteristiche idromorfologiche misurate a scala locale, quali profondità e velocità della corrente, granulometria del substrato, geometria dell'alveo, eventuale presenza di zone di rifugio per la fauna ittica (covers).

L'obiettivo è quello di ottenere una misura consistente dell'habitat disponibile per una determinata specie ittica in varie condizioni di portata. Si deduce, quindi, che i modelli di simulazione dell'habitat fluviale trovano applicazione in vari contesti: a valle di opere di presa per la quantificazione del Deflusso Minimo Vitale (DMV), per la salvaguardia di particolari specie, per la conservazione della biodiversità e ancora nell'esecuzione di misure di riqualificazione fluviale.

#### 2.1. Contesto normativo

Le prime modellazioni di habitat fluviale nella letteratura scientifica sono state presentate nei primi anni '70 nell'ambito della gestione della risorsa idrica (modello PHABSIM, *Physical HABitat SImulation Model*, Bovee 1982), benché la maggiore diffusione sia stata raggiunta anni dopo. Nell'ultimo ventennio l'incremento della sensibilizzazione verso la qualità dei corpi idrici e la conservazione delle specie ha determinato un aumento incisivo dell'utilizzo di tali modelli, come testimonia l'emanazione di direttive europee per la tutela dell'ambiente e del territorio.

La Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE definisce le linee guida per il raggiungimento di uno stato ecologico adeguato nei corsi d'acqua, attraverso la misura di parametri fisici, chimici, biologici e idro-morfologici. La Direttiva 2007/60/CE impone l'obbligo di interventi di mitigazione dell'impatto ambientale sui corsi d'acqua e la Direttiva Habitat 92/43/CE stabilisce nuovi programmi di monitoraggio dell'habitat e delle specie per assicurarne la conservazione; tutte rigorosamente in linea con il concetto di progresso sostenibile.

## Direttiva Quadro Acque e Piano di Gestione

Le tappe del percorso di pianificazione

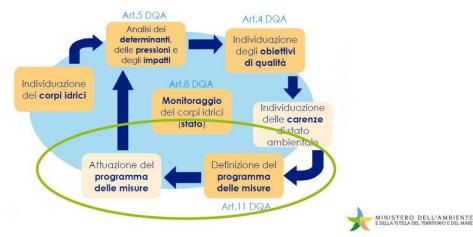


Figura 2.1. Le tappe del percorso di pianificazione promosse dalla Direttiva Quadro Acque. (www.minambiente.it).

La modellazione spaziale e temporale dell'habitat fluviale è uno strumento particolarmente idoneo all'adempimento di questi obblighi, sia per fini diagnostici (monitoraggio dello stato attuale di habitat) sia in termini previsionali per la predizione di possibili scenari futuri.

#### 2.2. Micro-Meso scala

Oggigiorno sono presenti vari modelli di simulazione dell'habitat, facilmente classificabili in relazione alla scala spaziale risolutiva a cui ricondurre la descrizione e l'analisi del caso studio.

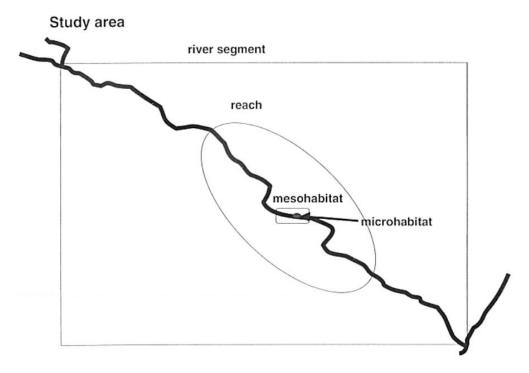


Figura 2.2. Scelta della scala spaziale di applicazione del modello (Micro o Meso scala). (Parasiewicz & Dunbar, 2001).

Nei modelli a micro-scala il corso d'acqua è schematizzato come un insieme di celle di dimensione nell'ordine dei decimetri, ottenute dall'intersezione di transetti verticali con curve longitudinali che seguono il profilo del fiume. Ogni cella definisce un microhabitat, i cui parametri fisici e idrologici indicativi sono la profondità e la velocità della corrente, che variano in relazione alla portata di deflusso, e la tipologia di substrato, considerata invariabile anche a valori di flusso differenti; questi descrittori vengono misurati in prossimità del punto di intersezione e assunti come rappresentativi per l'intera cella. Tale approssimazione accorcia di molto i tempi di campionamento, ma genera una prima e non trascurabile incertezza dei risultati.

La prima fase consiste nell'applicazione di un modello di simulazione idraulica che fornisce informazioni sulle variazioni delle caratteristiche dell'habitat in funzione della portata. L'utilizzo di modelli monodimensionali richiede l'ipotesi di flusso

unidirezionale, costante o gradualmente variato; invece, negli anni '90, con l'introduzione dei modelli multidimensionali, viene notevolmente migliorata la rappresentazione del livello di dettaglio sebbene ciò richieda una descrizione molto particolareggiata della topografia dell'alveo e quindi tempi e costi maggiori.

La fase seguente riguarda la definizione di modelli biologici di associazione speciehabitat, espressi come curve di preferenza, in relazione alle singole variabili fisiche considerate.

La combinazione del modello idraulico con il modello biologico consente di definire l'idoneità o meno di ogni cella per ogni specie considerata. L'integrazione di tutte le celle rende possibile il calcolo del WUA (Weighted Usable Area), un indice che esprime l'area disponibile per la specie ittica al variare della portata.

Il metodo più diffuso è PHABSIM (Physical HABitat SIMulation system, Bovee et al. 1998), ideato all'interno della procedura IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) e agevole per le valutazioni sul DMV a valle delle opere di presa (Vezza et al. 2017).

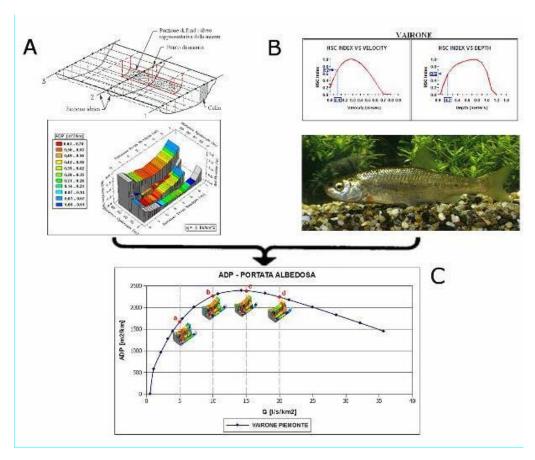


Figura 2.3. Applicazione di un modello PHABSIM a micro-scala per la descrizione dell'habitat nel torrente Albedosa (AL). Fase A: Schematizzazione dell'alveo bagnato in un mosaico di celle per ogni valore di portata. Fase B: Analisi delle curve di preferenza per la specie Vairone (profondità e velocità del tirante idraulico). Fase C: Definizione dell'andamento dell'habitat disponibile al variare delle condizioni di deflusso, considerando la totalità delle celle. (Vezza, 2010).

Le principali critiche al metodo riguardano la notevole quantità di tempo e denaro per la raccolta dati in campo, l'estensione spaziale ridotta e quindi poco rappresentativa dell'intero tratto (Parasiewicz 2001a, Vezza et al. 2011), l'incertezza dei risultati ottenuti a seguito dell'estrapolazione dati nell'applicazione di una modellazione matematica e infine la limitatezza di impiego solamente per fiumi perennali, a morfologia e geometria dell'alveo regolare, caratterizzati da assenza di salti e con pendenze inferiori al 2% (Vezza et al. 2016).

Per tutte queste ragioni, sono generalmente preferiti i modelli a meso-scala. Questi valutano la disponibilità di habitat a scala spaziale maggiore, circa  $10^{-1} - 10^{-3}$  m,

che nei corsi d'acqua coincide solitamente con l'unità idromorfologica (HMU, Hydro-Morphological Unit, o UMI, Unità Morfologica). Secondo quanto espresso da Parasiewicz (2007a), il meso-habitat è definibile come quella porzione di un corso d'acqua nella quale, per l'omogeneità delle caratteristiche morfologiche e delle configurazioni idrodinamiche (HMU), e per la presenza di particolari attributi fisici (descrittori ambientali), si creano condizioni favorevoli alla sopravvivenza e allo sviluppo di una particolare specie acquatica o di un suo stadio vitale.

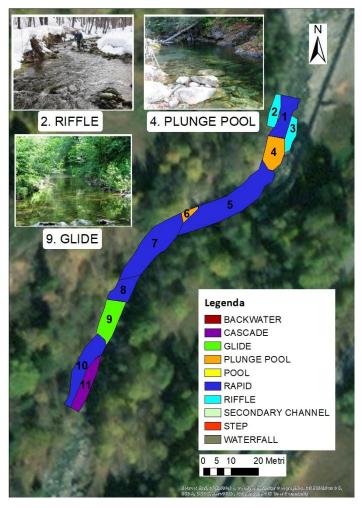


Figura 2.4. Metodologia MesoHABSIM con pool rapid e riffle per un tratto del fiume Dora di Rhemes. (Elaborazione propria).

L'analisi di unità di dimensioni maggiori, come *pool*, *rapid* o *riffle*, consente una migliore acquisizione del dato che viene misurato in maniera casuale all'interno di ogni UMI, una maggiore robustezza nei confronti della variabilità della portata e una consistente riduzione dei tempi e dei costi destinati alla fase di raccolta dati. Inoltre, rispetto ai metodi a micro-scala, l'assenza dell'impiego di una modellazione idraulica, elimina l'incertezza legata all'estrapolazione del dato, e la più ampia scala di modellazione garantisce un'indipendenza dal fattore temporale.

Tra i vari modelli a meso-scala quello che più si adegua alle diverse condizioni morfologiche dei corpi idrici è il MesoHABSIM (Parasiewicz 2001a), di cui si approfondiranno le fasi nel capitolo seguente.

## 2.3. Metodologia MesoHABSIM

La metodologia MesoHABSIM è stata sviluppata da Piotr Parasiewicz negli anni 2001-2007 come completamento della metodologia PHABSIM già esistente e largamente utilizzata.

L'habitat disponibile per una specie è classificato tra gli indicatori più efficaci per quantificare l'impatto delle alterazioni sulla comunità biotica del corpo idrico.

La metodologia MesoHABSIM è stata utilizzata in una vasta casistica di applicazioni e in vari contesti morfologici, dall'Unione Europea al Nord America, e dal 2010 è stata adottata al contesto italiano dal Politecnico di Torino (Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente e del Territorio e delle Infrastrutture, DIATI) (Vezza 2010, Vezza et al. 2011,2012a, 2014). Oggigiorno, rappresenta un modello di riferimento, le cui linee guida sono descritte all'interno del Manuale n° 154/2017 (Vezza et al. 2017) redatto dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), e i principali scopi per cui viene adoperato sono:

- La quantificazione e valutazione del DMV;
- La definizione dei deflussi ecologici o ambientali;
- Il monitoraggio dei rilasci dalle opere di presa;
- La progettazione e il monitoraggio di progetti di riqualificazione fluviale;
- La stima della vocazionalità ittica di un corso d'acqua;
- La conservazione di particolari specie;
- Il calcolo dell'Indice di Integrità Ambientale (IH) per valutare l'integrità ecologica spazio temporale di un tratto di fiume.

Le fasi procedurali della metodologia MesoHABSIM (*Figura 2.5*) possono essere schematizzate come segue:

- La descrizione dell'habitat fluviale;
- La costruzione dei modelli di idoneità dell'habitat;
- L'analisi delle variazioni spazio-temporali dell'habitat fluviale.

L'analisi combinata dei primi due output restituisce la quantità di habitat disponibile al variare della portata, che insieme alle serie storiche di portata (input della terza fase) permette la quantificazione dell'indice IH.

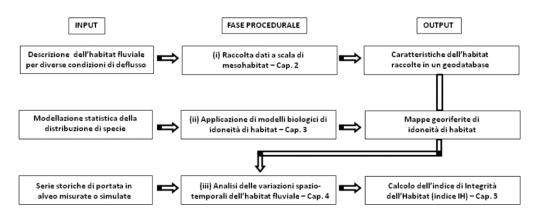


Figura 2.5. Input, fasi procedurali e output della metodologia MesoHABSIM per la valutazione della disponibilità di habitat e il calcolo dell'indice di integrità dell'habitat – Indice IH (modificato rispetto a Parasiewicz, 2007; Parasiewicz et al., 2013). (Manuale 154/17, ISPRA).

#### 2.3.1. Descrizione dell'habitat fluviale

La descrizione dell'habitat avviene attraverso una mappatura del sottotratto di interesse, definito attraverso un mosaico di unità idromorfologiche che si susseguono; all'interno di ognuna delle quali vengono misurati i descrittori ambientali rappresentativi dell'area stessa.

Tale classificazione segue un approccio gerarchico spaziale che va dalla scala di bacino fino alla scala delle unità morfologiche, in cui i fattori e i processi specifici di una scala sono fortemente influenzati da quelli agenti alla scala superiore. Il bacino idrografico rappresenta l'unità spaziale di partenza, all'interno della quale si definiscono delle unità fisiografiche o segmenti, morfologicamente e fisiograficamente omogenee (zona montana, collinare, di pianura). All'interno di un segmento si identificano i tratti, in funzione del grado di confinamento, delle principali discontinuità idrologiche, della presenza di elementi antropici rilevanti (dighe, canali artificiali). Con sottotratto si intende quella porzione di tratto fluviale che, per omogeneità delle caratteristiche idromorfologiche, risulta rappresentativa del tratto che si vuole analizzare (*Figura 2.6*). L'individuazione del sito è realizzata tramite lo studio di foto aeree o satellitari, allo scopo di identificare anche le eventuali vie di accesso al corso d'acqua. Generalmente, il rilievo fluviale deve comprendere un tratto di lunghezza pari almeno a 10-20 volte la larghezza media

dell'alveo e deve contenere almeno 10 unità; la lunghezza può ridursi fino a 2 volte l'estensione dell'alveo nel caso di fiumi a canali intrecciati o di grandi dimensioni.

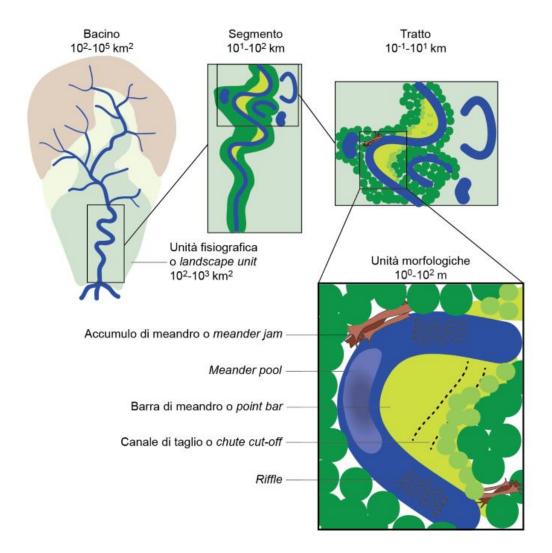


Figura 2.6. Estratto dell'approccio gerarchico della scala del bacino fino alla scala delle unità morfologiche. (Vezza et al., 2017):

La prima fase di rilievo consiste proprio nella mappatura delle UMI ed è realizzata tramite un telemetro laser con tecnologia Bluetooth poggiato su un treppiedi, un computer palmare tipo rugged da campo dotato di software GIS, una fotocamera per fotografare l'alveo e una bussola per la calibrazione della strumentazione (*Figura 2.7-2.8*).



Figura 2.7. Treppiedi fotografico, telemetro laser rangefield modello 360 R della marca Trupulse e bussola tradizionale utilizzata per la calibrazione del telemetro. (Web).



Figura 2.8. Computer palmare modello FZ-M1 della Panasonic. (Web).

Posizionando il telemetro su un Ground Control Point (GCP) e seguendo il principio topografico per la realizzazione di una poligonale, si delinea il perimetro bagnato di ogni UMI attraverso una serie di punti che verranno simultaneamente registrati sul software GIS del palmare e memorizzati in formato vettoriale (*Shapefile*).

La classificazione delle principali unità idromorfologiche nel contesto italiano è descritta nel Manuale n° 132/2016 dell'ISPRA (Rinaldi et al. 2016), all'interno del quale sono definiti tre livelli di caratterizzazione delle unità:

- Macro-unità, definite da caratteristiche tessiturali comuni e facilmente individuabili da foto aeree;
- Unità, che rappresentano la porzione spaziale di base e sono classificabili in unità di alveo e unità di pianura alluvionale; le prime includono unità sommerse, unità emerse e vegetazione in alveo, le seconde solitamente hanno dimensioni superiori;
- Sub-Unità, porzioni di unità omogenee in termini di sedimento, vegetazione e/o condizioni idrauliche, che possono corrispondere anche alla scala del microhabitat (*Figura 2.9*).

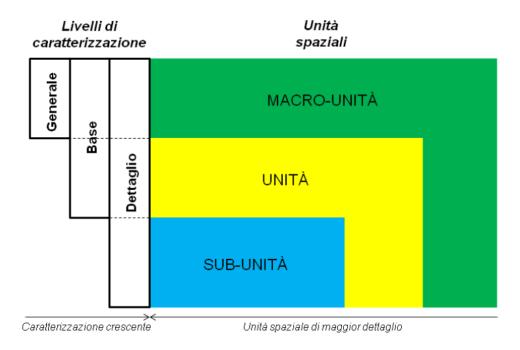


Figura 2.9. Livelli di caratterizzazione del rilievo e le relative unità spaziali. (Manuale 154/17, ISPRA).

Le unità di alveo sommerse vengono a loro volta classificate in specifiche unità di canale, in funzione delle caratteristiche morfologiche riferite alla configurazione del fondo. Se ne riporta una schematizzazione nella tabella seguente (*Tabella 2.1* e 2.2).

#### Pothole ("marmitta")

Unità d'erosione tipica di alvei in roccia. Si tratta di unità spesso alquanto incise, di forma circolare, scavate nella roccia in zone, dove vi è una concentrazione di flusso a elevata energia. Le pothole sono scolpite nella roccia attraverso processi di cavitazione e abrasione indotti dal materiale trasportato, il quale si ritrova intrappolato nella cavità stessa. Sono unità comunemente associate a livelli litologici meno resistenti o alla presenza di discontinuità strutturali.

#### Cascade ("rapida a gradino")

Unità alluvionali o semi-alluvionali costituite principalmente da massi e/o ciottoli di grandi dimensioni. I sedimenti non sono organizzati in linee (ribs) laterali né longitudinali e sono trasportati solo da piene intense e poco frequenti. Le piccole zone di pozza situate tra i massi sono poco profonde e con flusso molto turbolento, e presentano dimensioni inferiori rispetto alla larghezza dell'alveo (sono definite pocket pool, e non sono definibili come unità vere e proprie ma piuttosto come subunità). Per tutti i livelli idrometrici si ha una diffusa presenza di risalti idraulici che dominano la dissipazione dell'energia della corrente (spill resistance), derivante dalla turbolenza di scia indotta dagli elementi più grandi. Queste unità sono tipiche di alvei confinati a forte pendenza (S>7%).

#### Rapid ("rapida a scivolo")

Unità di alvei alluvionali caratterizzate da massi e ciottoli di grandi dimensioni parzialmente organizzati in linee irregolari orientate perpendicolarmente od obliquamente all'alveo, lunghe circa quanto la larghezza dell'alveo (transverse rib, si vedano le sub-unità). Gli elementi di dimensione maggiore sono visibili solamente in condizioni di portata medio-bassa, e risultano sommersi in condizioni di portata a piene rive. Le aree apparentemente simili a pozze visibili in condizioni di magra sono poco profonde e scarsamente sviluppate, pertanto non sono classificabili come unità morfologiche distinte.

#### Riffle ("raschio")

Unità caratterizzate da flusso meno profondo e più veloce rispetto a unità contigue, composte da sedimento relativamente uniforme (ghiaia e piccoli ciottoli) che raramente emergono dall'acqua. Le differenze di profondità e velocità tra i riffle e le unità adiacenti (tipicamente pool e glide) diminuiscono con l'aumentare delle portate. I riffle si formano nei punti di inflessione tra le sponde in corsi d'acqua alluvionali di tipo sinuoso, dove l'alveo è dominato da una sequenza di barre alternate.

#### Step ("gradino")

Sono unità sono tipiche dei corsi d'acqua ad elevata pendenza alluvionali, semialluvionali ed in roccia. Si tratta di salti (gradini) verticali o fortemente inclinati che occupano l'intera larghezza dell'alveo, formati da diversi tipi di materiale (roccia, sedimento, legno, o loro combinazione). Tali gradini sono approssimativamente più alti rispetto alla profondità del flusso in condizioni di piene rive valutata in corrispondenza del gradino stesso, ovvero non vengono sommersi almeno fino ad eventi di piena ordinaria. Gli step determinano accelerazione e convergenza del flusso, che comportano limitate fluttuazioni turbolente ed un pelo libero piuttosto regolare. Come già menzionato, gli step possono essere formati, oltre che da sedimento trasportato dalla corrente, da materiale legnoso (log step) od essere scavati nella roccia (rock step).

#### Waterfall ("cascata")

Sono gradini sub-verticali di notevole altezza formati dall'attività erosiva del corso d'acqua in corrispondenza di eterogeneità di resistenza del substrato roccioso o di discontinuità strutturali. Vengono distinti da un rockstep per l'altezza elevata, indicativamente > 3 m, e per il presentarsi come salti singoli o comunque non formanti una sequenza relativamente regolare in termini di interdistanza.

#### Glide ("scivolo")

Si tratta di unità caratterizzate da un profilo longitudinale del fondo e del pelo libero piuttosto regolare. Il pelo libero può presentarsi leggermente increspato ma si presenta quasi parallelo al fondo dell'alveo (condizioni molto prossime a quelle di un flusso a moto uniforme) e visivamente poco turbolento ed aerato. In alvei ghiaiosi relativamente pendenti, queste unità presentato sedimento non uniforme, spesso corazzato, e negli alvei a maggiore pendenza possono anche essere presenti sedimenti molto grossolani (ciottoli e massi) che emergono però solo localmente dalla superficie dell'acqua. Le glide sono anche comuni in corsi d'acqua ghiaiosi di bassa pendenza così come in corsi d'acqua a fondo sabbioso, dove sono tipicamente localizzate a valle di pool o a monte di riffle.

## Pool ("pozza")

Sono unità prevalentemente di origine erosiva che si presentano come depressioni topografiche del fondo dell'alveo con pendenza inversa nella porzione più a valle, ed occupano l'intera sezione trasversale. Sono caratterizzate da tiranti relativamente elevati e velocità ridotte, ma anche da caratteristiche idrodinamiche (fluttuazioni turbolente) complesse. Il sedimento spesso appare più fine rispetto alle unità adiacenti, nel caso in cui vi sia stata sedimentazione, altrimenti può essere anche molto grossolano. Le pool si alternano spesso a step o a riffle, rispettivamente in corsi d'acqua ad elevata pendenza in massi e ciottoli ed in alvei ghiaiosi, ma possono trovarsi anche in corsi d'acqua a fondo sabbioso associate ai meandri. Numerosi sono infatti i processi alla base della loro formazione, dando quindi origine a diversi sottotipi.

#### Plunge pool

Sono unità di pool in genere piuttosto profonde e circolari, formate in alvei in roccia da processi di corrosione e cavitazione a valle di unità a gradino di tipo rock step o waterfall grazie all'azione di caduta del getto d'acqua.

Tabella 2.1. Descrizione delle principali unità idromorfologiche del contesto italiano tratta dal Manuale 132/2016 edito dall'ISPRA. (Rinaldi et al. 2016).

Tipologia di UMI	Profilo longitudinale	Planimetria	Foto
Cascade			
Rapid	and one one		
Riffle	800 Jan 1980		
Step	log step		
Glide	\$ \tag{\tag{\tag{\tag{\tag{\tag{\tag{		
Pool	pool	pool	

Tabella 2.2. Principali unità di canale in alvei alluvionali a pendenza elevata. (Rinaldi et al., 2016, Vezza, 2010).

Delineato il contorno delle unità e definita la loro classificazione, si procede alla raccolta dei descrittori ambientali. All'interno di ogni UMI si definiscono in maniera del tutto casuale dei punti in cui effettuare le misurazioni di profondità, velocità e tipologia di substrato. Il numero di misurazioni è fissato pari alla quantità più piccola statisticamente rilevante, ossia tale da caratterizzare correttamente l'UMI; in ogni caso, maggiore di sette (*Figura 2.10*).



Figura 2.10. Esempio della distribuzione casuale e uniforme dei punti in cui effettuare le misure di profondità, velocità e substrato all'interno di ogni unità. (Vezza et al. 2017).

La misura di velocità e profondità è realizzata tramite un correntometro elettromagnetico montato su un'asta graduata; anche in questo caso il computer da campo registra i dati misurati, che verranno poi suddivisi in classi di frequenza. Per la profondità gli intervalli vanno da 0 a 120 cm e oltre con passo pari a 0.15 cm, per la velocità il range varia da 0 a 120 cm/s con passo pari a 0.15 cm/s. La tipologia di substrato è individuata attraverso un'attenta osservazione della morfologia dell'alveo nell'intorno del punto considerato, e la nomenclatura si riferisce al sistema di classificazione dell'Austrian Standard ÖNORM (*Tabella 2.3*). Per gli altri descrittori ambientali, come i rifugi (*covers*), si definisce la loro presenza o assenza, rispettivamente True o False, mediante accurata indagine visiva. (*Tabella 2.4*).

Nomenclatura	Diametro dei grani [cm]	Descrizione del substrato
Gigalithal	-	Substrato roccioso continuo
Megalithal	>40	Parti superiori di grandi ciottoli e blocchi, substrato roccioso
Macrolithal	20 - 40	Pietre grossolane, percentuali variabili di ciottoli, ghiaia e sabbia
Mesolithal	6.3 – 20	Ciottoli di medie dimensioni, con percentuali variabili di ghiaia e sabbia
Microlithal	2 – 6.3	Ghiaia grossolana, con percentuali di ghiaia media e fine
Akal	0.2 - 2	Ghiaia con dimensioni da medie a fini
Psammal	0.0063 - 0.2	Sabbia
Pelal	<0.0063	Limo, terriccio, argilla e fango
Detritus	-	Materiale organico
Xylal	-	Detriti di legno, radici
Sapropel	-	Fango anossico di colore scuro
Phytal	-	Piante sommerse

Tabella 2.3. Classificazione dimensionale delle principali tipologie di substrato che possono costituire l'alveo fluviale. (Elaborazione propria).

Cover	Caratteristiche
Boulders	Massi con diametro di almeno 40 cm
Canopy shading	Vegetazione terrestre sporgente e a contatto con l'acqua
Woody Debris	Accumuli di detriti legnosi
Overhanging vegetation	Vegetazione acquatica emergente
Submerged vegetation	Vegetazione acquatica sommersa
Shallow margin	Zone all'interno del corso d'acqua dotate di acque poco profonde e basse velocità
Undercut bank	Sponda scalzata alla base

Tabella 2.4. Classificazione delle principali tipologie di riparo (cover) per i pesci presenti nel corso d'acqua. (Elaborazione propria).

L'elenco complessivo dei descrittori ambientali di cui si deve tenere conto è riportato in *Tabella 2.5*.

Nome descrittore		21 112 1	
ambientale	Tipologia	Classi/Categorie	
Data del rilievo	Valore tipo data	-	
Portata al momento del rilievo	Valore numerico	-	
		POTHOLE, CASCADE,	
		RAPID, RIFFLE, STEP,	
		GLIDE, POOL, SISTEMA DI	
A1 (11)		DUNE, VEGETAZIONE	
Nomi UMI mappate	testo	ACQUATICA, CANALE	
		SECONDARIO,	
		BACKWATER, ARTIFICIAL	
		ELEMENT, ZONA UMIDA	
Pendenza media della		Rapporto tra quota massima e	
superficie libera	Valore numerico	quota minima misurata	
	Valore binario		
Connettività longitudinale per	(presenza/assenza,	CONNECTIVITY	
il passaggio della fauna ittica	True/False)		
	,	BOULDERS, CANOPY	
		SHADING, OVERHANGING	
		VEGETATION, ROOTS,	
Presenza di zone di rifugio	Valore binario	SUBMERGED VEGETATION,	
(covers)	(presenza/assenza,	EMERGED VEGETATION,	
	True/False)	UNDERCUT BANKS,	
		WOODY DEBRIES, RIPRAP,	
		SHALLOW MARGINES	
		GIGALITHAL, MEGALITHAL,	
		MACROLITHAL,	
		MESOLITHAL,	
Tipologie di substrato	testo	MICROLITHAL, AKAL,	
		PSAMMAL, PELAL,	
		DETRITUS, XYLAL,	
		SAPROPEL, PHYTAL	
Duefe wellth vilous-t-	Malana munaania -	Statisticamente rielaborate in	
Profondità rilevate	Valore numerico	classi di 0.15 m.	
Valacità rilaveta	Valore numerica	Statisticamente rielaborate in	
Velocità rilevate	Valore numerico	classi di 0.15 m/s.	
Numero di Froude	Valore numerico	Media sull'area dell'UMI	
T 1 11 2 5 E1 1	<u> </u>	. 1. , 1. , 1. , . 1	

Tabella 2.5. Elenco e breve descrizione dei descrittori ambientali utilizzati nel modello MesoHABSIM. (Elaborazione a partire da Vezza et al., 2017).

Per il calcolo della pendenza si effettua il rapporto tra il massimo dislivello e la massima lunghezza dell'unità, quest'ultima calcolata su GIS grazie al rilievo topografico dei punti che delimitano le UMI.

Il numero di Froude è un indicatore del grado di turbolenza superficiale ed è pertanto fortemente correlato con la distribuzione delle specie. Si calcola, come la deviazione standard [2.2] a partire dai valori di profondità  $(d_i)$  e velocità  $(v_i)$  misurati in campo [2.1].

Froude = 
$$\sum_{i=1}^{n} \frac{v_i}{\sqrt{9.81d_i}}$$
 [2.1]

$$SD_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (v_i - v_m)^2}$$
 [2.2]

Dove, n è il numero di punti misurati e  $v_m$  è la velocità media.

I poligoni individuati e georiferiti con il telemetro laser sono inviati tramite Bluetooth al computer da campo e registrati tramite dei software GIS:

- ArcPad, programma progettato da ESRI per la mappatura mobile e la registrazione dei dati di campo acquisiti in formato vettoriale;
- MapStream, plugin di QGIS, la cui ultima versione è stata sviluppata da ISPRA a maggio 2018 con il fine specifico di agevolare la mappatura delle UMI per la metodologia MesoHABSIM.

Durante la raccolta dati di questa sperimentazione è stato utilizzato il software MapStream (*Figura 2.11*.).



Figura 2.11. Finestra di avvio del software MapStream su QGIS (Web).

All'inizio e alla fine di ogni rilievo è prevista una misura di portata; nel caso in ci il fiume sia guadabile, questa è realizzata attraverso una serie di misure di velocità con il correntometro elettromagnetico lungo la sezione più favorevole: bassa pendenza locale del fondo, moto rettilineo, scarsa turbolenza di grande scala e facile accesso da parte dell'operatore (Vezza et al., 2017). Il transetto, così individuato, viene suddiviso, lungo la larghezza dell'alveo in segmenti ( $d_i$ ) di lunghezza proporzionale alle variazioni del campo di velocità lungo il transetto, in questa fase è necessario l'utilizzo di una bindella metrica. Per ogni segmento individuato si realizza una misura di velocità con il correntometro (Figura 2.12).

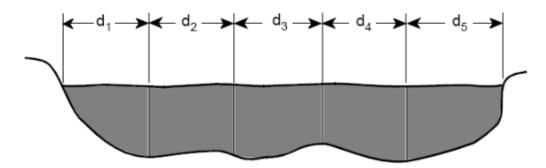


Figura 2.12. Misurazione della velocità con il correntometro elettromagnetico (modello OTT MF PRO) e suddivisione della sezione dell'alveo in segmenti di lunghezza d<sub>i</sub> per la misura di portata. (Manuale 154/17, ISPRA).

Per la corretta descrizione delle variazioni spaziali e temporali dell'habitat fluviale sono necessari da 3 a 5 rilievi rappresentativi della disponibilità di habitat a diverse condizioni di portata nel tratto considerato.

#### 2.3.2. Modelli di idoneità dell'habitat

Il tassello fondamentale per classificare una unità idromorfologica idonea o meno alla presenza di una determinata comunità, è la consultazione dei modelli di distribuzione delle specie; già presenti nel software SimStream.

Questi sono stati prodotti attraverso un'analisi dei descrittori ambientali, ricavati da dati di letteratura e confermati tramite molteplici rilievi fluviali. La tecnica statistica ad apprendimento automatico Random Forests ristruttura i dati con un procedimento di cross-validation (Vezza et al. 2014a, 2015, 2016b) e permette di identificare tra i parametri quelli che maggiormente influenzano la distribuzione della specie oggetto di studio, attraverso due modelli statistici binari: presenza/assenza e presenza/abbondanza.

Il modello di presenza/assenza definisce che quella specifica UMI sia idonea per la specie considerata quando la probabilità di presenza sia superiore a 0.5, altrimenti risulterà non idonea (*Figura 2.13*)

- MUM_UMH	HMU_TYPE	PROB	D30_45	D45_60	MACROLITHA	SLOPE	BOULDER	D_15	D15_30	CV45_60	MESOLITHAL	GIGALITHAL
1	CASCADE	0.652	0.455	0.091	0.545	0.148	1	0.091	0.364	0.000	0.182	0.00
2	POOL	0.534	0.200	0.200	0.200	0.040	1	0.400	0.200	0.200	0.400	0.00
3	RAPID	0.572	0.200	0.200	0.200	0.125	1	0.200	0.400	0.000	0.000	0.00
4	CASCADE	0.572	0.250	0.000	0.250	0.105	1	0.375	0.375	0.000	0.375	0.00
5	CASCADE		0.000	0.000	0.000	0.337	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
6	PLUNGE_POOL	0.572	0.250	0.250	0.000	0.040	1	0.000	0.000	0.000	0.250	0.00
7	RAPID	0.572	0.286	0.000	0.000	0.166	1	0.000	0.429	0.000	0.000	0.00
8	RAPID		0.000	0.000	0.000	0.316	1	0.250	0.000	0.000	0.000	0.00
9	POOL	0.572	0.200	0.200	0.200	0.096	1	0.200	0.200	0.000	0.000	0.00
10	RIFFLE	0.694	0.500	0.125	0.500	0.140	1	0.000	0.375	0.125	0.250	0.00
11	POOL		0.333	0.000	0.667	0.055	1	0.333	0.333	0.000	0.000	0.00
12	RIFFLE	0.572	0.429	0.000	0.143	0.082	1	0.143	0.429	0.000	0.429	0.00
13	POOL	0.643	0.250	0.500	0.500	0.047	1	0.000	0.250	0.000	0.500	0.00
14	RAPID		0.200	0.000	0.200	0.162	1	0.600	0.200	0.000	0.400	0.00
15	RAPID		0.000	0.000	0.000	0.371	1	0.500	0.500	0.250	0.000	0.00
16	PLUNGE_POOL	0.572	0.200	0.000	0.200	0.024	1	0.000	0.200	0.000	0.000	0.00



Figura 2.13. Tabella attributi e corrispondente mappa georiferita (software GIS) della presenza per la specie adult Brown trout sul fiume Artanavaz (Valle d'Aosta), relativamente a un valore di portata pari a 0.43 m³/s. Le UMI non idonee alla presenza della specie target sono quelle la cui cella nella colonna PROB è vuota. (Elaborazione ottenuta da SimStream).

Il modello di presenza/abbondanza stabilisce che la specie abbondi in una UMI già definita idonea, quando la sua probabilità di abbondanza risulti maggiore di 0.5 (*Figura 2.14*).

HMU_NUM	HMU_TYPE	PROB	D60_75	CV15_30	SLOPE	D90_105	CV45_60	CV105_120	MEGALITHAL
1	CASCADE	0.424	0.000	0.182	0.148	0.000	0.000	0.000	0.273
2	POOL	0.562	0.000	0.000	0.040	0.000	0.200	0.000	0.200
3	RAPID	0.229	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.200	0.800
4	CASCADE	0.626	0.000	0.000	0.105	0.000	0.000	0.000	0.375
5	CASCADE	0.393	1.000	0.000	0.337	0.000	0.000	0.000	1.000
6	PLUNGE_POOL	0.416	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.500
7	RAPID	0.406	0.286	0.000	0.166	0.000	0.000	0.000	0.714
8	RAPID	0.448	0.750	0.000	0.316	0.000	0.000	0.000	0.250
9	POOL	0.461	0.200	0.200	0.096	0.000	0.000	0.000	0.600
10	RIFFLE	0.580	0.000	0.250	0.140	0.000	0.125	0.000	0.250
11	POOL	0.661	0.000	0.000	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000
12	RIFFLE	0.551	0.000	0.286	0.082	0.000	0.000	0.000	0.429
13	POOL	0.638	0.000	0.250	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
14	RAPID	0.494	0.000	0.000	0.162	0.000	0.000	0.000	0.200
15	RAPID	0.433	0.000	0.000	0.371	0.000	0.250	0.000	0.500
16	PLUNGE_POOL	0.492	0.000	0.400	0.024	0.400	0.000	0.000	0.200

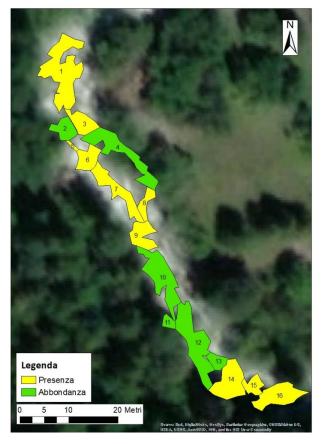


Figura 2.14. Tabella attributi e corrispondente mappa georiferita (software GIS) dell'abbondanza per la specie adult Brown trout sul fiume Artanavaz (Valle d'Aosta), relativamente a un valore di portata pari a 0.43 m³/s. Le UMI non idonee all'abbondanza della specie target sono quelle la cui cella nella colonna PROB è vuota. (Elaborazione ottenuta da SimStream).

La rappresentazione del risultato dell'algoritmo RF avviene tramite la tecnica del PDP (Partial Dependance Plot), in cui ogni grafico esplicita la relazione parziale tra la probabilità di presenza (o di abbondanza) e ogni singolo descrittore di habitat (*Figura 2.15*).

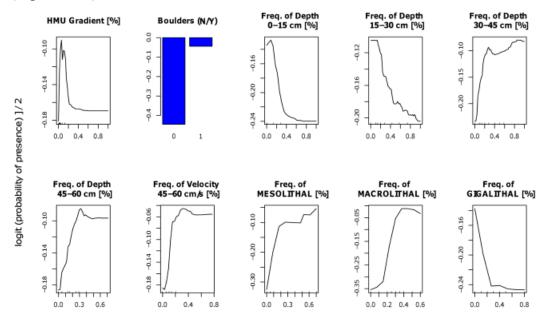


Figura 2.15. Esempio di curve di preferenza per la specie adult Brown Trout (modello presenza/assenza), derivanti da un'estrapolazione di tipo Random Forests. (Software SimStream).

Come rappresentato in *Figura 2.15*, gli andamenti che descrivono le relazioni tra le caratteristiche dell'habitat e la distribuzione della specie sono generalmente non lineari. A titolo di esempio, per la specie Brown Trout (stadio vitale adulto) si nota che la probabilità di presenza della specie ha un andamento a campana considerando la pendenza del pelo libero (*HMU gradient*) e un andamento monotono decrescente per valori di profondità inferiori a 30 cm (*Freq. of Depth 0-15 cm e Freq. of Depth 15-30 cm*). Dall'analisi di tali andamenti si deduce che è più probabile riscontrare la presenza dello stadio vitale adulto di tale specie se la profondità supera i 30 cm e se si riscontra un intervallo di pendenza della superficie libera compreso tra 0.05 e 0.15. Tale ragionamento è ripetuto identico per tutti gli altri descrittori ambientali.

La descrizione finale di idoneità è visualizzata tramite delle mappe GIS, in cui si evidenziano le unità non idonee (Not Suitable) in rosso, le idonee (Suitable) in

giallo e le aree caratterizzate da abbondanza della specie (Optimal) in verde (*Figura 2.16*).

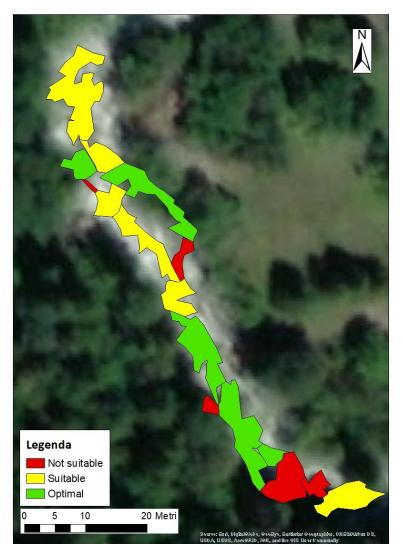


Figura 2.16. Mappa di idoneità dell'habitat per la specie adult Brown trout sul fiume Artanavaz (Valle d'Aosta), relativamente a un valore di portata pari a 0.43 m³/s. (Elaborazione ottenuta da SimStream).

È utile considerare che la presenza di aree rosse, cioè non idonee alla specie, non determina una interruzione della continuità del fiume, ma semplicemente che tale UMI non è utilizzata dalla comunità biologica in esame durante le proprie abitudini giornaliere.

Se l'analisi si realizza su almeno tre rilievi dello stesso tratto a differente portata, l'implementazione del modello permette di ricavare le relazioni Habitat/Portata, che descrivono chiaramente la disponibilità di area per una specie per tutte le condizioni di deflusso comprese tra il valore minore di portata rilevato e quello maggiore.

## 2.3.3. Modelli di variazione spaziale e temporale dell'habitat

L'estensione delle aree classificate come idonee ( $H_i$ ) o ottimali ( $H_o$ ) viene utilizzata per il calcolo dell'area totale disponibile alla specie, attraverso la seguente equazione:

$$H_d = 0.25 \cdot H_i + 0.75 \cdot H_o \tag{2.3}$$

I coefficienti sono stabiliti per dare maggiore peso alle aree ottimali rispetto a quelle ritenute solo idonee per la comunità.

Il calcolo dell'area disponibile per più di tre rilievi a portate differenti (*Tabella 2.6*), permette la creazione delle relazioni Habitat/Portata, tramite un processo di interpolazione lineare; la quantità di habitat è riportata in percentuale e in metri quadrati sull'asse delle ordinate, e nelle ascisse si legge la portata di deflusso in m<sup>3</sup>/s. (*Figura 2.17*)

Portata [m³/s]	Superficie bagnata totale [m²]	H <sub>i</sub> [m²]	H <sub>o</sub> [m²]	H <sub>d</sub> [m²]	H <sub>d</sub> [%]
0.26	392.35	30.80	149.69	119.96	17.11
0.43	445.81	200.09	180.39	185.32	26.43
1.00	701.19	289.42	221.38	238.39	34.00

Tabella 2.6. Risultati numerici della quantità di habitat per il torrente Artanavaz per la specie adult Brown trout alle 3 condizioni di portata: 260 l/s, 430 l/s, 1000 l/s. I valori di  $H_d$  in percentuale sono ottenuti dividendo il valore di  $H_d$  in  $m^2$  (Equazione 2.3) per l'area bagnata misurata alla portata maggiore e moltiplicando poi il risultato per 100. (Elaborazione propria).

# Habitat-flow rating curves 100 701 80 561 Channel area [%] 421 60 280 40 140 20 0.2 0.4 0.6 0.0 0.8 1.0 Discharge [m³/s] Legend Wetted area Adult marble trout Adult brown trout Iuvenile trout

Figura 2.17. Relazione Habitat/Portata per il fiume Artanavaz (Valle d'Aosta) in riferimento a 4 specie ittiche (adult e juvenile Brown trout, adult e juvenile Marble trout) e 3 condizioni di portata (260 l/s, 430 l/s, 1000 l/s). (Elaborazione ottenuta con il software SimStream).

Si nota che i valori numerici riportati in *Tabella 2.6* sono chiaramente individuabili sulle relazioni Habitat/Portata (*Figura 2.17*).

È conveniente aumentare l'intervallo di portata sull'asse x, attraverso, ad esempio, la pianificazione di un rilievo in condizioni di piena e uno in condizioni di deflusso prossime allo zero, così da ottenere per interpolazione il valore corrispondente di habitat su un range di portate più vasto possibile.

La linea tratteggiata in *Figura 2.17* è ottenuta per interpolazione dai dati puntuali di estensione dell'area bagnata alle diverse condizioni di deflusso, e tende ad aumentare all'aumentare della portata in alveo; invece, le linee continue identificano ognuna la disponibilità di habitat per una delle specie considerate, sempre alle varie condizioni di flusso. Si deduce che curve orizzontali e molto

vicine all'asse delle ascisse descrivano un elevato grado di alterazione morfologica (si riporta ad esempio il caso di un canale artificiale).

La variazione temporale dell'habitat si ricava a partire dalle serie storiche di portata, attraverso la seguente relazione matematica:

$$H_d(t) = H(Q(t))$$
 [2.4]

In cui.

 $H_d(t)$  è l'habitat disponibile al tempo t,

H descrive il rapporto habitat-portata per una determinata specie o stadio vitale Q(t) è la portata defluente al tempo t.

In questo modo le serie di portata sono tradotte in serie temporali di habitat, che permettono di stimare la durata e la frequenza di eventi idrologici di stress per le comunità biocenotiche. Tale valutazione è semplificata ulteriormente dall'utilizzo dell'indice IH, stimato a partire dalla comparazione tra uno scenario di riferimento, che descrive le condizioni di deflusso naturali del corso d'acqua, e uno scenario alterato, misurato a valle dell'opera di presa e riferito alla portata rilasciata dalla struttura di derivazione. Le due condizioni sono espresse in termini di serie temporali di portata, dalle cui dissomiglianze sarà possibile, in seguito, quantificare il grado di alterazione dell'integrità dell'habitat fluviale.

L'indice di Integrità dell'Habitat fluviale IH è un efficace indicatore numerico per la gestione delle risorse idriche sia nel caso di condizioni attuali sia per valutazioni previsionali di scenari futuri. Nello specifico, si calcola a partire da due indici: l'Indice di disponibilità Spaziale dell'Habitat (ISH) e l'Indice di disponibilità Temporale dell'Habitat (ITH); entrambi quantificati dal confronto delle serie storiche di habitat in condizioni di riferimento e in condizioni alterate.

L'indice ISH descrive la quantità media spaziale di habitat che, a seguito di un evento di stress o un impatto, non è più considerata disponibile per la comunità in esame. È adimensionale, ha un valore compreso tra 0 e 1 e si calcola come il minimo tra i valori ottenuti per ogni specie con la seguente formula matematica:

$$ISH = min \left( \begin{cases} 1 - \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}}, se \ \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}} \le 1\\ 0, \qquad se \ \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}} > 1 \right)_{specie}$$
 [2.5]

Dove,

 $A_{Hd,r}$  è il valor medio della serie storica di habitat in condizioni non alterate,  $A_{Hd}$  è la quantità media di habitat disponibile in condizioni alterate.

L'indice ITH stima la durata continua di situazioni di stress per le specie, espressa come numero di giorni in cui il valore di habitat disponibile rimane sotto un valore soglia  $A_{Q97}$ , pari all'habitat corrispondente al 97° percentile di portata (nel caso di scala annuale coincidente con l'habitat disponibile alla portata  $Q_{355}$ ), generando dinamiche di sofferenza per l'ecosistema acquatico. L'indicatore utilizzato è rappresentato dalla distanza media tra la curva di durata sottosoglia in condizioni alterate  $(d_{c,AQ97})$  e quella in condizioni non alterate  $(d_{c,r,AQ97})$ , considerando in quest'ultima la durata massima continua tra tutti gli eventi sottosoglia  $(d_{max,r})$ .

L'alterazione complessiva AGS (*Stress Day Alteration*, Parasiewicz et al. 2012b) è calcolata come media su tutto l'intervallo di durate continue sottosoglia in condizioni non alterate (intervallo da 1 a  $d_{max,r}$ ), con la seguente formula:

$$AGS = \frac{1}{d_{max,r}} \cdot \sum_{k=1}^{k=d_{max,r}} \left( \frac{|d_{c,AQ97} - d_{c,r,AQ97}|}{d_{c,r,AQ97}} \right)$$
 [2.6]

L'indice ITH è ricavato dall'AGS tramite la seguente funzione esponenziale, scelta in quanto capace di rilevare l'importanza anche di situazioni di stress apparentemente trascurabili:

$$ITH = min(e^{-0.38 \cdot AGS})_{specie}$$
 [2.7]

Analogamente all'ISH, l'indice ITH è adimensionale, ha un valore compreso nel range 0-1 ed è pari al minimo calcolato per ogni specie presente nel tratto considerato.

L'indice IH è calcolato come il minimo tra i due indici ISH e ITH, ha un valore compreso tra 0 e 1; in particolare, risulta pari a 0 quando descrive un livello molto

consistente di alterazione, se coincide con 1, rappresenta una alterazione pressocché nulla, cioè livelli di habitat pari a quelli misurati nelle condizioni di riferimento. Come enunciato dalla Direttiva Quadro Acque, l'Indice di Integrità Ambientale è definito in cinque classi (*Figura 2.18*).

IH	CLASSE
IH ≥ 0.80	ELEVATO
$0.60 \le IH < 0.80$	BUONO
$0.40 \le IH < 0.60$	SUFFICIENTE
$0.20 \le IH < 0.40$	SCADENTE
IH < 0.20	PESSIMO

Figura 2.18. Classificazione dell'integrità dell'habitat attraverso l'indice IH. (Vezza et al., 2017).

Analizzando tutta la procedura, si comprende bene quanto sia fondamentale poter disporre di un sistema computazionale efficace per il calcolo di tale indice. Il più avanzato software presente ad oggi è SimStream (Zanin et al. 2016), del cui funzionamento discuteremo approfonditamente nel capitolo seguente.

#### 2.4. Software SimStream

L'ultima versione del software SimStream (versione 1.1.1) opera come plugin in ambiente QGIS ed è stata sviluppata a maggio 2018 da ISPRA. Il software ha un'interfaccia grafica a navigazione condizionata, in cui ogni pagina richiede l'inserimento di specifici dati di input. Le informazioni raccolte in campo e archiviate tramite MapStream (o ArcPad) sono automaticamente riconosciute in SimStream. Le analisi dei dati avvengono su un server in remoto e, per tale ragione, è indispensabile una connessione in background con il software statistico R.

## 2.4.1. Formato dei dati di input

All'avvio del plugin è richiesta un'autenticazione per motivi di sicurezza, in quanto si utilizza un server in remoto per l'analisi dei dati (*Figura 2.19*). Accedendo alla *Calculation session* è possibile avviare la sessione operativa attraverso una procedura guidata:

• **Step 1**. È richiesto di descrivere le informazioni riguardanti il sito analizzato, quali nome del progetto, nome del fiume, stato, regione e provincia di pertinenza (*Figura 2.20*).

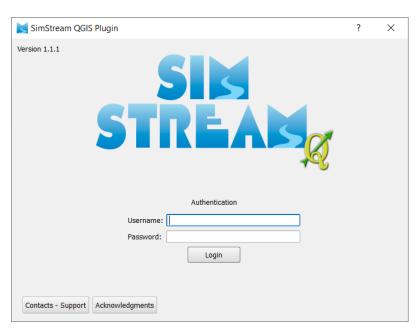


Figura 2.19. Finestra di avvio di SimStream. (Elaborazione propria).

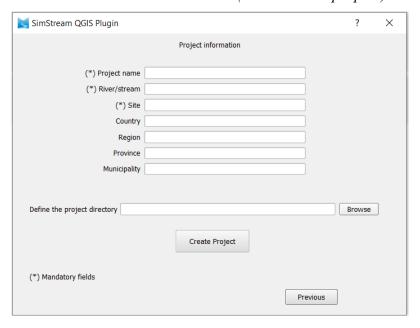


Figura 2.20. Step 1: Caratterizzazione del sito. (Elaborazione propria).

• *Step 2*. Si inseriscono per ogni rilievo i dati idromorfologici misurati in campo, quali data del rilievo, portata in alveo (m³/s), classificazione delle UMI (formato *Shapefile*) ed elenco dei descrittori misurati all'interno di ogni unità (file di testo).

In questi ultimi due casi, è richiesta una specifica formattazione del dato che, per i file GIS, richiede una classificazione delle informazioni descritte nelle rispettive *Attribute Tables*, che devono riportare un numero identificativo dell'unità (HMU\_NUM), la tipologia di UMI (HMU\_TYPE), i valori di quota massima e minima per il calcolo della pendenza (z\_max e z\_min), le varie tipologie di *covers* la cui presenza/assenza è indicata in termini di True/False e una colonna per inserire eventuali commenti (*Figura 2.21*).

Per i file di testo l'organizzazione dei dati deve visualizzare il numero identificativo dell'unità (HMU\_NUM), la tipologia dell'unità (HMU\_TYPE), un valore crescente che identifichi il numero di punti campionati all'interno di ogni unità (PNT\_NUM) e, infine, le relative misure di profondità (DEPTH), velocità della corrente (VELOCITY) e la tipologia di substrato (SUBSTRATE) (*Figura 2.22*).

HMU_NUM	HMU_TYPE	Z_MAX	Z_MIN	CONNECTIV	BOULDER	CANOP_SHAD	OVERHA_VEG
1	cascade	0.0000000000	-2.1680000000	False	True	False	False
2	pool	0.0000000000	-0.2000000000	True	True	False	False
3	rapid	0.0000000000	-0.9700000000	True	True	False	False
ROOTS	SUBMER_VEG	EMERG_VEG	UNDERC_BAN	WOODY_DEBR	RIPRAP	SHALL_MARG	COMMENT
False	False	False	False	False	False	False	
False	False	False	False	False	False	False	
False	False	False	False	False	False	False	

Figura 2.21. Esempio di corretta formattazione dei dati all'interno della tabella attributi. A titolo di esempio, si riportano solo tre UMI relative al rilievo a portata 430 l/s sul fiume Artanavaz. (Elaborazione propria).

HMU_NUM	HMU_TYPE	PNTNUM	DEPTH	VELOCITY	SUBSTRATE
1	CASCADE	1	0.3	0.76	MACROLITHAL
1	CASCADE	2	0.6	0.16	MEGALITHAL
1	CASCADE	3	0.3	0.76	MEGALITHAL
1	CASCADE	4	0.15	0.34	MESOLITHAL
1	CASCADE	5	0.4	0	MACROLITHAL
1	CASCADE	6	0.32	0.31	MACROLITHAL
1	CASCADE	7	0.4	0.22	MACROLITHAL
1	CASCADE	8	0.27	0.31	MEGALITHAL
1	CASCADE	9	0.38	0.65	MESOLITHAL
1	CASCADE	10	0.4	0.32	MACROLITHAL
1	CASCADE	11	0.25	0.05	MACROLITHAL
2	POOL	1	0.1	0.31	MICROLITHAL
2	POOL	2	0.5	0.13	MESOLITHAL
2	POOL	3	0.38	0	MACROLITHAL
2	POOL	4	0.3	0.46	MEGALITHAL
2	POOL	5	0.15	0.61	MESOLITHAL
3	RAPID	1	0.55	0.31	MEGALITHAL
3	RAPID	2	0.2	1.37	MEGALITHAL
3	RAPID	3	0.35	1.1	MACROLITHAL
3	RAPID	4	0.2	0.94	MEGALITHAL
3	RAPID	5	0.15	0.1	MEGALITHAL

Figura 2.22. Esempio di corretta formattazione dei dati dei descrittori ambientali all'interno dei file di testo. A titolo di esempio, si riportano solo tre UMI relative al rilievo a portata 430 l/s sul fiume Artanavaz. (Elaborazione propria).

• Step 3. Se i rilievi inseriti precedentemente sono almeno tre, è possibile, a questo punto, inserire le serie storiche di portata. I dati devono essere organizzati in un file di testo caratterizzato da minimo 3 colonne: la prima con la data della misura, la seconda contenente i valori di portata relativi allo scenario di riferimento e a seguire tutti gli altri valori attinenti alle serie alterate (Tabella 2.7). I dati devono essere inseriti in ordine cronologico giornaliero e ogni serie deve avere la stessa lunghezza.

DATE	REFERENCE	ALTERED_1	ALTERED 2
13/03/2008	24.08520334	2.1	6.5
14/03/2008	26.02363654	2.1	6.5
15/03/2008	22.00423828	2.1	6.5
16/03/2008	22.07550421	2.1	6.5
17/03/2008	21.80469368	2.1	6.5
18/03/2008	22.11113717	2.1	6.5
19/03/2008	23.95692467	2.1	6.5
20/03/2008	20.12281782	2.1	6.5
21/03/2008	22.10401058	2.1	6.5
22/03/2008	19.37452559	2.1	6.5
23/03/2008	17.68552313	2.1	6.5
24/03/2008	16.03215363	2.1	6.5
25/03/2008	20.41500812	2.1	6.5
26/03/2008	21.9828585	2.1	6.5
27/03/2008	21.61227568	2.1	6.5
28/03/2008	18.20576439	2.1	6.5
29/03/2008	17.67839653	2.1	6.5
30/03/2008	19.36739899	2.1	6.5
31/03/2008	24.32038089	2.1	6.5
01/04/2008	22.80241666	2.1	6.5

Tabella 2.7. Esempio di corretta formattazione delle serie storiche di portata. La serie si riferisce a un estratto del fiume Dora Baltea; in realtà, la serie ha una lunghezza temporale di 13 anni (dal 2008 al 2020). (Elaborazione propria).

• Step 4. In questa fase devono essere selezionate le specie ittiche da utilizzare come indicatore; SimStream contiene già i modelli di distribuzione di 35 specie, per cui basta selezionare, tramite i menu a tendina, le comunità target scelte per il caso studio, lo stadio vitale (Adult o Juvenile) e i modelli che si intende utilizzare (Figura 2.23).

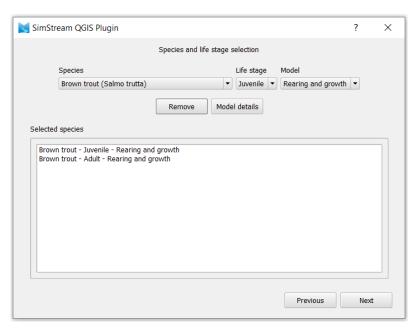


Figura 2.23. Step 4: Scelta delle specie da analizzare tramite i menu a tendina, e del loro rispettivo stadio vitale. (Elaborazione propria).

Si nota come la sintassi, l'ordine e la formattazione dei dati siano fortemente vincolanti; infatti, il software non permette il caricamento delle informazioni di input non conformi ai requisiti richiesti e genera in questo caso una finestra che descrive esplicitamente la natura dell'errore. SimStream opera, inoltre, un controllo sulla coerenza fisica dei dati; a titolo di esempio, non è accettabile che all'aumentare della portata l'area bagnata misurata diminuisca o ancora che il dato di profondità del corso d'acqua sia pari a zero.

• Step 5. Si selezionano le categorie di output richieste e si procede all'Upload (Figura 2.24).

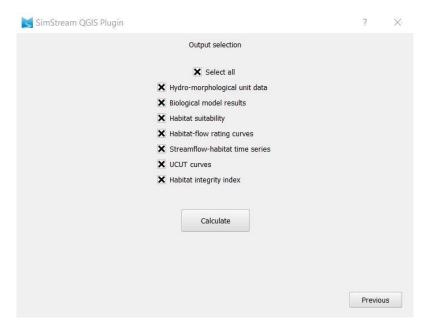


Figura 2.24. Step 5: Selezione degli output richiesti e upload del progetto. (Elaborazione propria).

# 2.4.2. Formato dei dati di output

In funzione della quantità e della tipologia dei dati immessi, dalla *Download Session* è possibile scaricare, come cartella compressa, diverse tipologie di output. Nel caso in cui non sia possibile caricare le serie storiche di portata e il numero di rilievi sia minore di tre, il software produce in output i seguenti file:

- Hydro-morfological unit maps (formato Shapefiles GIS), che contengono le mappe georeferenziate delle unità idromorfologiche caricate in input con una colorazione standard in funzione della tipologia di UMI (Figura 2.25).
- *Hydro-morfological unit data* (formato *pdf* e *txt*), che riportano i valori di profondità, velocità e substrato attraverso degli istogrammi (*Figura 2.26*).
- Habitat suitability map (formato Shapefile GIS), contenente i file vettoriali delle mappe di idoneità dell'habitat georiferite, per ogni specie al variare della portata (Figura 2.27).
- Habitat suitability data (formato txt), che visualizzano il calcolo totale dell'area disponibile, idonea e ottimale per ogni specie al variare delle condizioni di deflusso (Figura 2.28).

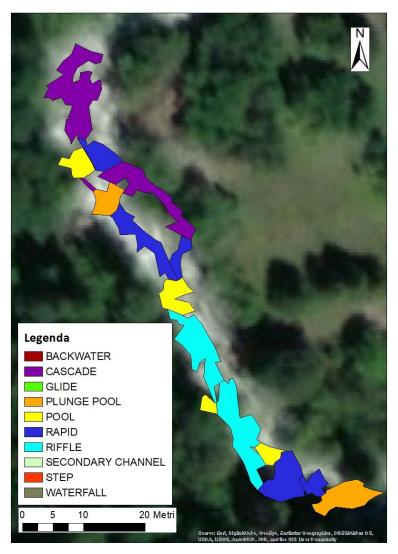


Figura 2.25. Mappa georiferita del mosaico di unità idromorfologiche del fiume Artanavaz, in condizioni di deflusso pari a 0.43 m³/s. (Prodotto tramite il software SimStream).

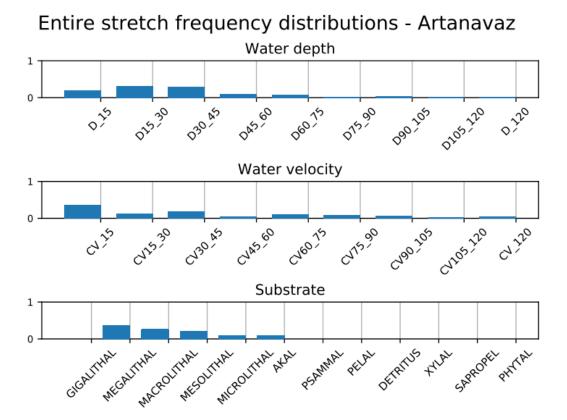


Figura 2.26. Rappresentazione della distribuzione in classi statistiche dei dati di profondità, velocità e substrato. I valori si riferiscono a una portata di 0.43 m³/s sul fiume Artanavaz (rilievo del 2010). (Prodotto tramite il software SimStream).

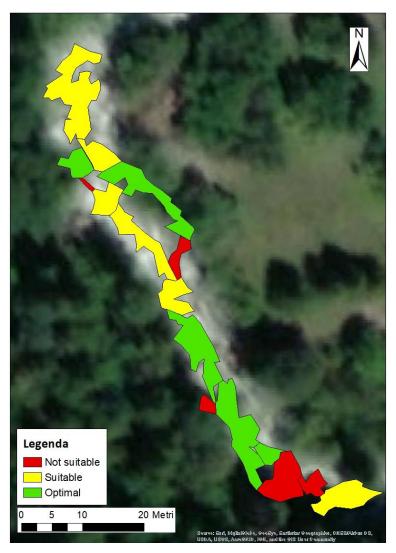


Figura 2.27. Mappa di idoneità dell'habitat per la specie adult Brown trout sul fiume Artanavaz, in condizioni di portata pari a 0.43 m³/s. (Prodotto tramite il software SimStream).

Availabl	e area [sqm]							
DIS	WET	BROW_A_R	MARB_A_R	TROU_J_R				
0.26	408.05	119.96	135.36	164.54				
0.43	449.03	185.32	250.99	185.2				
1	701.19	238.39	100.84	203.11				
Suitable	area [sqm]							
DIS	WET	BROW_A_R	MARB_A_R	TROU_J_R				
0.26	408.05	7.7	0	17.03				
0.43	449.03	50.02	17.18	54.19				
1	701.19	72.35	100.84	31.1				
Optimal	Optimal area [sqm]							
DIS	WET	BROW_A_R	MARB_A_R	TROU_J_R				
0.26	408.05	112.26	135.36	147.5				
0.43	449.03	135.29	233.81	131.01				
1	701.19	166.03	0	172.01				

Figura 2.28. Dati di area disponibile, idonea e ottimale per le specie in esame (Brown Trout e Marble Trout), considerando tutti gli stadi vitali (Adult e Juvenile). I valori si riferiscono a una portata di 0.43 m³/s sul fiume Artanavaz (rilievo del 2010). (Prodotto tramite il software SimStream).

Nel caso in cui non siano reperibili le serie storiche di portata ma il numero di rilievi è superiore a tre, oltre agli output precedenti, saranno generate anche le *relazioni Habitat/Portata*, in formato *pdf* e *txt* (*Figura 2.29*).

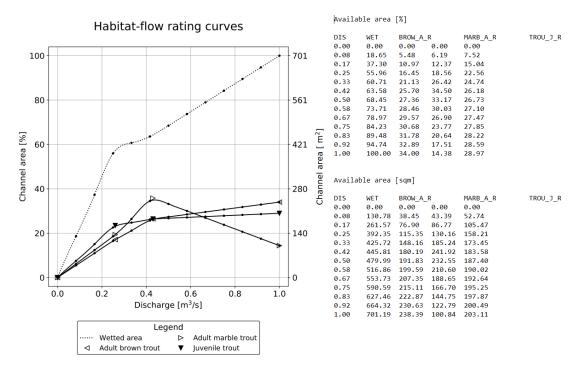


Figura 2.29. Relazioni habitat/portata e relativi dati numerici da cui si ottengono per interpolazione le curve. I valori si riferiscono a una portata di 0.43 m³/s sul fiume Artanavaz (rilievo del 2010) e le specie target considerate sono la Brown Trout e la Marble Trout, agli stadi vitali adulto e giovane. (Prodotto tramite il software SimStream).

Se per il caso studio sono disponibili anche le serie storiche di portata, il procedimento di calcolo per l'IH è completo e si otterranno anche:

- Streamflow time series (formato pdf), cioè le serie storiche di portata inserite in fase di caricamento (Figura 2.30).
- Habitat time series (formato pdf e txt) che visualizzano le serie temporali di habitat relative ad ogni scenario di rilascio e ad ogni specie, e i relativi indici e parametri che è necessario calcolare per poter arrivare alla stima dell'indice IH (Figura 2.31).
- Curve CDS (Curve di Durata Sottosoglia, o in inglese UCUT, Uniform Continuous Under Threshold curves) relative al valore soglia A<sub>Q97</sub> per la stima dell'indice ITH (formato pdf e txt), per tutti gli scenari alterati e per quello di riferimento (Figura 2.32).

• *Indice di Integrità ambientale IH* in formato *txt* e *pdf* per tutti gli scenari proposti, e i relativi parametri e indici usati per la sua stima. (*Figura 2.33-2.34*).

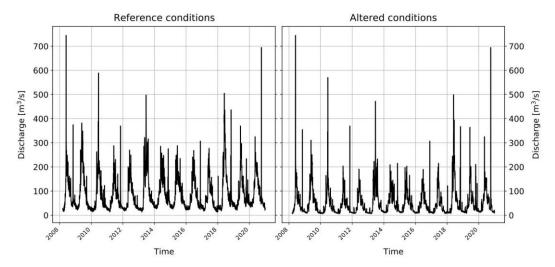


Figura 2.30. Serie storiche di portata. La serie si riferisce a un estratto del fiume Dora Baltea e ha una lunghezza temporale di 13 anni (dal 2008 al 2020). Si riporta a titolo di esempio un solo scenario di rilascio. (Software SimStream).

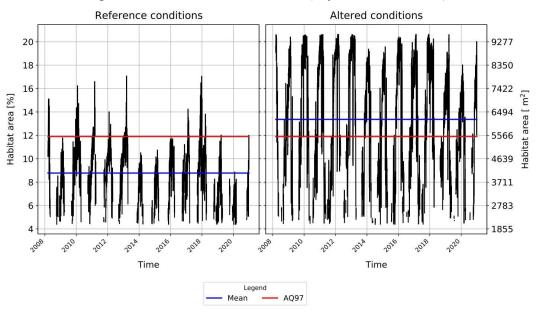


Figura 2.31. Serie temporali di habitat relative a uno scenario di rilascio per la specie Marble Trout, stadio vitale giovane. La serie si riferisce a un estratto del fiume Dora Baltea e ha una lunghezza temporale di 13 anni (dal 2008 al 2020). Si riporta a titolo di esempio un solo scenario di rilascio. (Software SimStream).

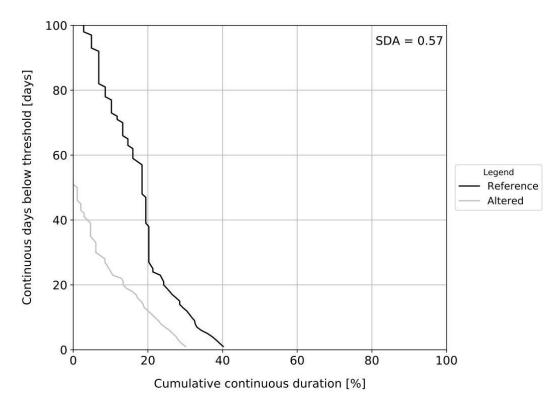


Figura 2.32. Curve di Durata Sottosoglia, o in inglese UCUT, Uniform Continuous Under Threshold curves) relative al valore soglia  $A_{Q97}$  per la stima dell'indice ITH (formato pdf), per uno scenario di rilascio e per quello di riferimento. Le curve sono relative a un tratto del fiume Dora Baltea e alla specie Marble Trout, stadio vitale giovane. Si riporta a titolo di esempio un solo scenario di rilascio. (Software SimStream).

D:	D D . lı		
River Dora Baltea			
Q97 [m <sup>3</sup> /s]		21.46	
IH		0.48	
Adult bullhead			
AHdr [%	6]	11.29	
AHd [%]		14.26	
ISH		0.74	
AQ97 [9	6]	13.66	
SDA [-]		0.59	
ITH		0.8	
Adult marble trout			
AHdr [%	<u>6</u> ]	25.54	
AHd [%]		25.06	
ISH		0.98	

AQ97 [%]	25.09
SDA [-]	1.91
ITH	0.48
Juvenile trout	
AHdr [%]	8.78
AHd [%]	13.37
ISH	0.48
AQ97 [%]	11.89
SDA [-]	0.57
ITH	0.8
Adult vairone	
AHdr [%]	8.92
AHd [%]	10.55
ISH	0.82
AQ97 [%]	9.86
SDA [-]	0.59
ITH	0.8
Juvenile vairone	
AHdr [%]	10.14
AHd [%]	13.94
ISH	0.63
AQ97 [%]	13.59
SDA [-]	0.59
ITH	0.8

Figura 2.33. I principali indici e parametri che è necessario calcolare relativamente ad ogni scenario di rilascio, per poter arrivare alla stima dell'indice IH. Si riporta, a titolo di esempio, il valore degli indici per un solo scenario relativo a un tratto del fiume Dora Baltea. (Software Simstream).

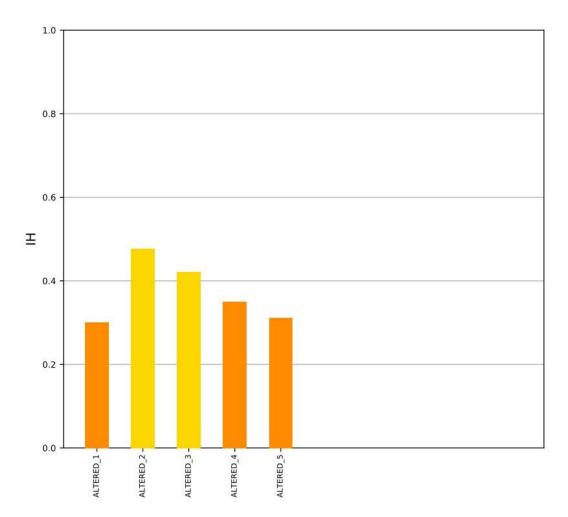


Figura 2.34. Indice di Integrità ambientale IH in formato pdf per tutti gli scenari proposti. Il colore indica la classe di integrità dell'habitat di appartenenza (vedasi Figura 2.18). I valori dell'indice sono calcolati per un tratto del fiume Dora Baltea. (Software SimStream).

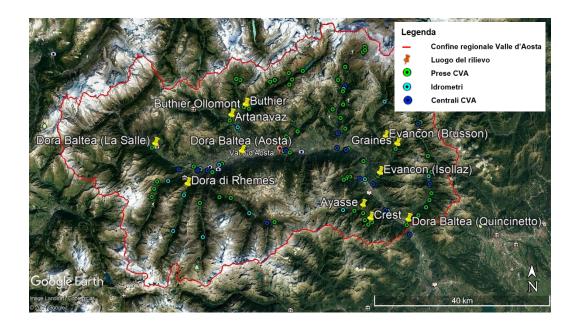
Tutti i rilievi oggetto della presente tesi sono stati elaborati anche con una nuova versione del software SimStream, che sarà resa pubblica a giugno 2021. Il nuovo modello, molto intuitivo e semplice da utilizzare, presenta un'interfaccia abbastanza simile alla versione precedente. La procedura guidata attraverso gli *Step* sopraelencati rimane pressocché invariata ma ciò che ha richiesto la necessità di una nuova versione è stato, più di ogni altra cosa, l'esigenza di disporre di un software non vincolato a una versione prestabilita di QGIS. Il nuovo SimStream è utilizzabile direttamente online, non necessita dell'installazione di un sistema GIS per il caricamento dei dati e accelera di moltissimo la procedura di elaborazione degli output (pochi secondi) che avviene in automatico, senza la necessità che qualcuno acceda al server in remoto; i file prodotti possono poi essere scaricati immediatamente dalla *Download Session*. Il software è ancora in fase di affinamento, ma sarà presto disponibile.

# 3. Definizione dei deflussi ecologici in Valle d'Aosta

La Valle d'Aosta coincide con il tratto superiore del bacino della *Dora Baltea*, che nasce dalle falde del massiccio del Monte Bianco e si getta nel Po dopo un percorso di circa 160 km, nei pressi di Crescentino. Circa 100 km di tale percorso sono compresi nel territorio valdostano.

I principali affluenti della Dora Baltea in territorio valdostano, da monte verso valle, sono (*Figura 3.1*):

- Dora di Valgrisenche, affluente di destra che confluisce nei pressi di Arvier;
- Dora di Rhêmes, affluente di destra che confluisce nel Savara nei pressi di Introd;
- Savara, affluente di destra che confluisce nei pressi di Introd;
- *Grand'Eyvia*, affluente di destra che dalla val di Cogne confluisce nei pressi di Aymavilles;
- Artanavaz, affluente di sinistra del Buthier;
- Ollomont, affluente di sinistra del Buthier;
- Buthier, affluente di sinistra che confluisce nei pressi di Aosta;
- *Marmore*, affluente di sinistra che confluisce nei pressi di Châtillon;
- Chalamy, affluente di destra che dal vallone di Champdepraz confluisce nei pressi di Verrès;
- *Graines*, affluente di sinistra dell'Evancon, più piccolo e caratterizzato da regime nivopluviale;
- Évançon, affluente di sinistra che scende dalla Val d'Ayas (Monte Rosa), confluisce nei pressi di Issogne e ha la morfologia di un tipico torrente alpino;
- Ayasse, affluente di destra che confluisce nei pressi di Hône;
- Lys, affluente di sinistra che dalla valle del Lys confluisce nei pressi di Pont-Saint-Martin.



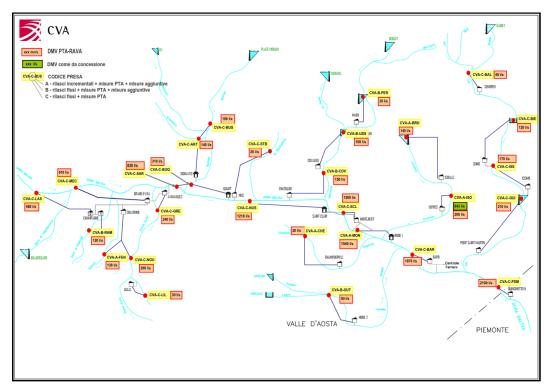


Figura 3.1. I principali fiumi e le relative condotte forzate e prese idroelettriche del territorio valdostano. (CVA).

La Compagnia Valdostana delle Acque (CVA) ha richiesto al Politecnico di Torino di valutare, tramite la metodologia MesoHABSIM. la disponibilità di habitat nei fiumi valdostani soggetti a derivazione idrica.

I fiumi oggetto di studio del presente elaborato sono riportati in Tabella 3.1.

Nome corso d'acqua	Foto	Fonte
Torrente Artanavaz		Paolo Vezza
Fiume Ayasse		Web
Torrente Buthier		Web
Torrente Buthier Ollomont		Web
Torrente Crest		Paolo Vezza

Torrente Dora di Rhêmes	Paolo Vezza
Fiume Dora Baltea (Aosta)	Google Map
Fiume Dora Baltea (La Salle)	Google Map
Fiume Dora Baltea (Quincinetto)	Elaborazione propria
Torrente Evancon (Brusson)	Web
Torrente Evancon (Isollaz)	Web



Tabella 3.1. Elenco dei fiumi oggetto di studio del presente elaborato di tesi. (Elaborazione propria).

# 3.1. Caratterizzazione idro-morfologica

Tutti i fiumi e torrenti valdostani sono classificabili come alvei montani, caratterizzati da dimensioni ridotte (larghezza compresa tra 5 e 10 volte circa le particelle presenti al fondo), pendenze elevate e alto grado di confinamento. Tale morfologia del fiume prende il nome di alveo confinato e si trova generalmente in zone collinari o montane caratterizzate da assenza di pianura. Oltre il 90% delle sponde è direttamente in contatto con versanti, depositi di frana, conoidi di affluenti, terrazzi fluviali antichi o depositi glaciali; eventualmente la pianura è ristretta a punti isolati (meno del 10% della lunghezza del tratto) (Manuale n. 131/16, ISPRA). Nei tratti montani confinati, a energia e pendenza elevate, prevalgono unità di tipo erosivo, scolpite all'interno del substrato roccioso (ad es., plunge pool, rock step) e/o unità costituite da sedimento di grosse dimensioni quali massi e blocchi (ad es., cascade, rapide). Procedendo verso valle, nei tratti parzialmente confinati a energia e pendenza medie, si osservano unità deposizionali quali le barre centrali e le isole; cominciano a comparire la pianura alluvionale e le unità ad essa associate (ad es., piana inondabile, zone umide). La transizione tra unità morfologiche non si verifica allo stesso modo lungo tutti i corsi d'acqua (Manuale n.132/16, ISPRA).

I fiumi montani presentano, inoltre, elevata resistenza al moto, determinata dalla presenza di sedimenti grossolani, di un regime delle portate fortemente influenzato dalla variabilità stagionale, da una morfologia dell'alveo caratterizzata da forte variabilità spaziale (influenza dei versanti) e limitata variabilità temporale (solo eventi molto intensi riescono a generare alterazioni del fondo).

Tutti i fiumi sopra descritti hanno un regime nivo-glaciale, in quanto la notevole altezza delle montagne presenti consente loro di mantenere una portata molto elevata soprattutto durante l'estate, grazie alle abbondanti acque di scioglimento dei numerosi ghiacciai situati a monte. In particolare, la Dora Baltea presenta dimensioni maggiori rispetto ai suoi affluenti e rappresenta uno tra i cinque più importanti tributari del Fiume Po con apporti medi annui pari a 110 m³/s.

# 3.2. Specie target

La scelta di utilizzare le specie ittiche come comunità target per valutare la qualità di un corpo idrico nasce a seguito delle criticità emerse dall'utilizzo degli indicatori biologici e dei relativi indici precedentemente usati. Come suggerisce anche la WFD, *European Commission*, 2000, al fine di valutare l'impatto delle alterazioni idromorfologiche, gli indicatori tradizionali sono di difficile applicazione in situazioni in cui:

- Non è possibile isolare l'impatto della sola alterazione idromorfologica sulla specie target;
- La specie da valutare è assente o soggetta a gestione (ad esempio ripopolamento);
- Si deve prevedere uno scenario futuro (ad esempio simulazione di rilascio del DMV o del deflusso ecologico);
- Sono presenti specie aliene;
- La comunità target risponde in maniera consistente anche ad altri tipi di alterazione;
- Si registra una forte variabilità stagionale dell'abbondanza della popolazione.

In tutti questi casi, si suggerisce l'utilizzo delle comunità biocenotiche come specie target su cui basare la valutazione dell'integrità dell'habitat (vedasi *European Commission*, 2000). Numerosi studi hanno dimostrato che la scelta dei pesci come specie target garantisce una maggiore consistenza dei risultati rispetto ad altre componenti biotiche, come i macroinvertebrati; infatti, questi ultimi manifestano una risposta ecologica in termini di abbondanza o diversità che può essere positiva o negativa, in relazione alle condizioni morfologiche e climatiche (Poff and

Zimmerman, 2010). Le specie ittiche sono diventate uno strumento efficace per la valutazione della qualità ambientale grazie alla risposta negativa e consistente alle alterazioni, anche minime, del regime idrologico naturale, in termini di abbondanza degli individui, diversità di specie e struttura della popolazione

Le motivazioni di tale risposta ecologica derivano dalla presenza di pesci in tutti i livelli della catena trofica; questi sono, inoltre, le specie di acqua dolce che presentano una durata della vita maggiore e sono strettamente influenzati dalla disponibilità e diversità di habitat per il compimento dei loro cicli vitali. Infine, il loro valore economico può essere un fattore di interesse non indifferente agli enti pubblici e privati (attività turistiche, pesca sportiva etc).

Nella scelta della comunità ittica da prendere in esame è necessario tenere in considerazione la posizione geografica, la morfologia, l'altitudine, il regime termico del fiume, in quanto la distribuzione e la composizione biotica cambia molto al variare di tali condizioni al contorno.

Date le caratteristiche comuni dei corsi d'acqua nel caso studio considerato, le specie scelte sono le stesse per tutti i fiumi della sperimentazione: *Marble trout* e *Brown trout*. Fanno eccezione solo i rilievi sulla Dora Baltea; in particolare, quello realizzato ad Aosta, per il quale le specie target scelte sono state *Brown trout*, *Vairone* e *Bullhead*, e il rilievo a Quincinetto, per cui si considerano come target ecologico le specie *Marble Trout*, *Vairone* e *Bullhead*. Si riporta di seguito una breve descrizione delle specie scelte, tratta dalla letteratura esistente.

#### 3.2.1. Marble trout

La trota marmorata (in inglese *Marble trout*; in latino *Salmo marmoratus*) appartiene alla famiglia dei Salmonidi ed è piscivora, cioè si nutre prevalentemente di invertebrati e pesci di dimensioni minori. È una specie ad elevata capacità di crescita, caratterizzata da un motivo cromatico marmorizzato, da cui prende il nome (*Figura 3.2*).



Figura 3.2. Marble trout. (Web)

Generalmente, predilige fiumi e torrenti montani e pedemontani d'acqua dolce con temperature estive dell'acqua intorno ai 16° - 18° C, ben ossigenati, con corrente da sostenuta a moderata e substrato misto, formato da roccia, massi e ghiaia, ricco di anfratti e intervallato da buche profonde, come è visibile dal modello (Figura 3.3). Presenta due stadi vitali, quello giovanile (Juvenile), che predilige velocità ridotte della corrente e profondità limitate, e quello adulto (Adult), di taglia maggiore, che presenta un'indole territoriale. Tendenzialmente, si stabiliscono in un tratto di fiume o di torrente ben definito, dove restano al riparo delle asperità del fondale, compiendo spostamenti di breve entità per attaccare le prede e per scacciare i potenziali competitori; le sole migrazioni di una certa importanza vengono effettuate per raggiungere le zone di riproduzione nel periodo di frega. Le principali minacce alla sua esistenza sono l'ibridazione con altre specie di trota straniere introdotte per la pesca (ad es. Trota fario), l'estrazione dell'acqua, l'inquinamento e la presenza di opere di derivazione che determinano perdita consistente di habitat. Per tali ragioni, è inclusa tra le specie minacciate elencate nell'appendice II della direttiva Habitat 92/43/CEE (Animal and plant species of community interest whose conservation requires the designation of special areas of conservation) e nel piano generale d'azione per la conservazione dei pesci d'acqua dolce italiani (Zerunian, 2003).

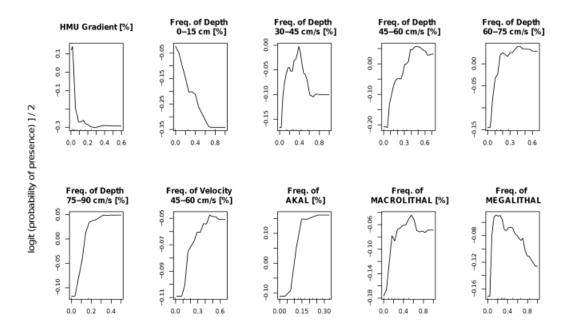


Figura 3.3. Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per la specie Marble trout (stadio vitale adulto), costruito con la tecnica ad apprendimento automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di idoneità della specie vedasi Appendice 1.

#### 3.2.2. Brown trout

La trota fario (in inglese *Brown trout*; in latino *Salmo trutta*) è un Salmonide che negli ultimi anni è stato ampiamente introdotto in ambienti idonei. Si riconoscono tre ecotipi: quello tipicamente fluviale, uno lacustre detto anche trota di lago e quello marino che vive tutte il suo ciclo di vita negli oceani, ad eccezione della fase di deposizione delle uova, per la quale ritorna in acqua dolce. Tale specie non è a rischio di estinzione, sebbene sia sottoposta a vari gradi di stress a causa della pesca eccessiva e del crescente numero di costruzioni idrauliche, oltre che dall'inquinamento. La presenza di rifugi o ripari è fondamentale per la sopravvivenza di tale specie, in quanto gli esemplari prediligono rocce, tronchi sommersi o vegetazione a strapiombo per la protezione dai predatori, dalla luce solare troppo intensa e dalle temperature elevate dell'acqua (intervallo di temperatura ideale: 16-18° C.). In inverno, privilegiano l'acqua profonda per la protezione dal gelo, invece, scelgono l'acqua veloce in caso di bassi livelli di ossigeno, soprattutto in estate. Le preferenze della specie in termini di profondità,

velocità e substrato sono riportate nei modelli biologici in *Figura 3.4*. Si nutrono per lo più di macroinvertebrati e presentano un corpo snello di colorazione brunorossastro, con una testa lunga e stretta (*Figura 3.5*).

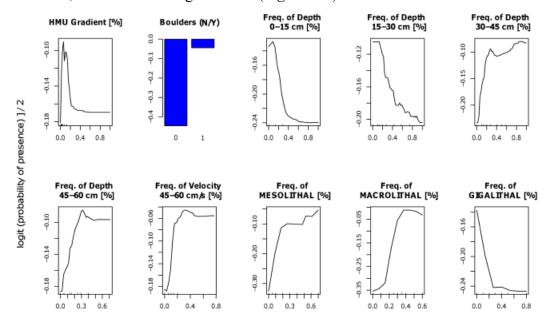


Figura 3.4. Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per la specie Brown trout (stadio vitale adulto), costruito con la tecnica ad apprendimento automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di idoneità della specie vedasi Appendice 1.



Figura 3.5. Esemplare di Brown trout adulto. (Web).

# **3.2.3. Vairone**

Il Vairone (nome latino *Telestes muticellus*) è un pesce d'acqua dolce appartenente alla famiglia dei Cyprinidae, caratterizzato da un corpo snello e fusiforme, di dimensioni ridotte; la livrea del dorso varia dal verde bluastro al bruno verdastro e presenta riflessi metallici (*Figura 3.6*).



Figura 3.6. Esemplare di Vairone in fiume. (M. Makrovcic).

Predilige fiumi con acque pulite e trasparenti, altamente ossigenate e fondali sabbiosi o ghiaiosi (*Figura 3.7*). La fase di riproduzione avviene a seguito di migrazioni in affluenti minori dei corsi d'acqua, caratterizzati da acque basse con forti correnti.

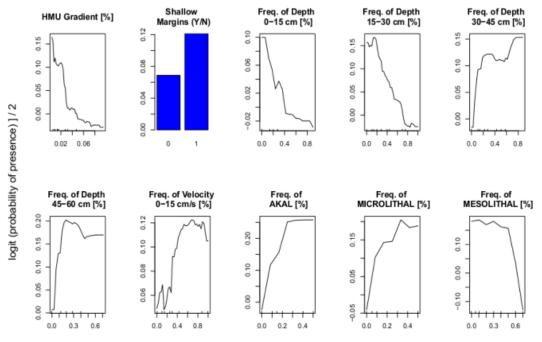


Figura 3.7. Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per la specie Vairone (stadio vitale adulto), costruito con la tecnica ad apprendimento

automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di idoneità della specie vedasi Appendice 1.

La dieta include invertebrati, quali crostacei, insetti, vermi ma anche detriti organici e vegetali. Nella classificazione IUCN (*Unione Mondiale per la Conservazione della Natura*) il Vairone è incluso tra le specie a minor preoccupazione (LC), nonostante rimanga tra le specie italiane più sensibili alla qualità delle acque. Localmente, le principali cause di declino della specie sono l'eccessivo prelievo idrico, la canalizzazione dei corsi d'acqua e la costruzione di dighe e/o sbarramenti che interrompono la continuità del corso d'acqua.

# 3.2.4. Bullhead



Figura 3.8. Esemplare di Bullhead. (Kohout, J., Web).

Lo scazzone (in inglese *Bullhead*; in latino *Cottus Gobio*) è un pesce d'acqua dolce appartenente alla famiglia Cottidae. Ha un corpo robusto di dimensioni limitate (massimo 15 cm di lunghezza), una colorazione bruno-verdastra con macchie più scure ed è facilmente riconoscibile a causa della dimensione della testa, molto grande rispetto al normale, e dagli occhi, anch'essi grandi e ravvicinati (*Figura 3.8*). È dotato di aculei in prossimità dell'opercolo branchiale e del preopercolo e sulla prima pinna dorsale; anche la testa appare spinosa, in quanto ricoperta di piastre ossee. La sua alimentazione comprende vermi, larve, insetti e crostacei.

Questo tipo di pesce è molto frequente in fiumi caratterizzati da acqua fredda (temperature inferiori a 14 - 16° C.), forte corrente, presenza di massi, ciottoli o ghiaia al fondo e alta ossigenazione. La specie è fotofoba, per cui svolge la maggior parte delle sue attività durante il crepuscolo o nelle ore notturne; di giorno rimane nascosta tra sassi e piante acquatiche. È considerato un buon indicatore biologico in quanto non tollera acque inquinate. In Italia, la specie è minacciata per lo più

dalle opere di regimazione dei corsi d'acqua, dall'immissione di altre specie per la pesca, dalla riduzione del livello di acqua nei fiumi e dall'inquinamento. Per tale motivo è stata dichiarata protetta in molti stati europei e ed è elencata tra le specie a minimo rischio (LC) nella Lista Rossa IUCN. Le curve di preferenza di profondità, velocità e substrato sono riportante in *Figura 3.9*.

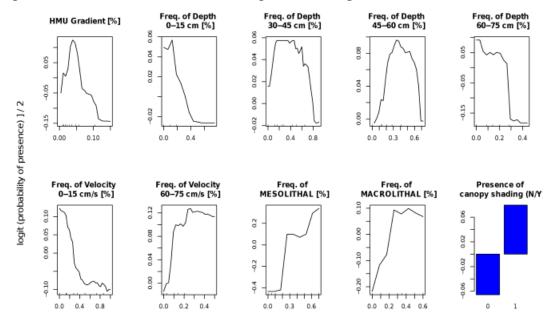


Figura 3.9. Esempio di modello di idoneità di habitat (presenza/assenza) per la specie Bullhead, costruito con la tecnica ad apprendimento automatico Random Forests (RF) e rappresentato tramite "Partial Dependence Plots" (PDP). (Software SimStream). Per dettagli sugli altri esempi di modelli di idoneità della specie vedasi Appendice 1.

# 4. Elaborazione e standardizzazione dati idro-morfologici

La realizzazione di una modellazione dell'habitat fluviale coerente per tutti i fiumi oggetto di studio ha richiesto come prima inevitabile fase, una rielaborazione dei dati rilevati già presenti nel database del Politecnico di Torino e di CVA. L'obiettivo principale è garantire la correttezza e la veridicità dei dati rilevati attraverso tre differenti momenti:

- Verifica della corretta classificazione delle UMI, attraverso un'analisi dei dati originali dei rilievi.
- Verifica della coerenza interna dei valori di profondità e velocità misurati in campo e della tipologia di substrato identificata durante il rilievo, attraverso l'analisi delle curve di frequenza cumulata a diverse portate per ogni fiume;
- Verifica della variazione della disponibilità di habitat per ognuno dei corsi d'acqua.

Nell'immagine seguente (*Figura 4.1*) vengono schematizzate le fasi procedurali seguite durante la fase di elaborazione dei dati.

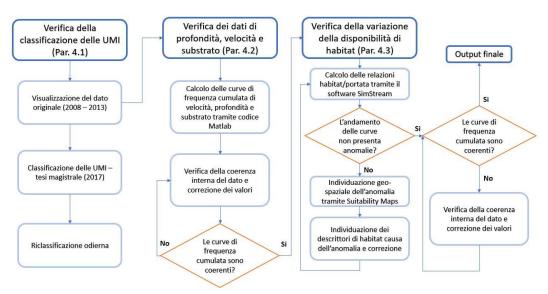


Figura 4.1. Diagramma di flusso relativo alle fasi procedurali di elaborazione dei dati. (Elaborazione propria).

# 4.1. Verifica della classificazione delle UMI

La classificazione delle unità idromorfologiche viene realizzata in campo durante la fase di raccolta dati (vedasi *Capitolo 2.3.1*), che per la maggior parte dei rilievi del caso studio risale al quinquennio 2010-2015.

Il problema principale riscontrato riguarda la classificazione di unità di alveo con morfologia a scala di tratto a gradinata, altrimenti detta *step-pool*. Questa è caratterizzata da un andamento del flusso che alterna getti liberi e risalti idraulici (il cosiddetto *tumbling flow*) (Comiti and Mao, 2012); pertanto, in relazione all'utilizzo della metodologia MesoHABSIM e del software SimStream, risulta difficile classificare tali unità in termini di habitat idoneo o meno ad una determinata specie ittica.

Al fine di risolvere questo inconveniente, si è reso necessario scomporre tali UMI in più sub-unità step, cascade o pool in relazione alle caratteristiche idromorfologiche delle stesse. Per rendere più veloce il processo di riclassificazione, in un elaborato di tesi magistrale del 2017, è stato tentato un approccio automatizzato tramite la creazione di un codice Matlab in grado di riclassificare le unità attraverso una valutazione del dislivello ( $\Delta H$ ) massimo misurato:

- Per  $\Delta H < 3$  metri, l'unità è classificata come *step*;
- Per  $\Delta H \ge 3$  metri, l'unità è classificata come waterfall.

Il risultato ottenuto è caratterizzato da una quantità eccessiva di UMI classificate come *step* o *waterfall* e, quindi, un valore di habitat disponibile per le specie molto minore rispetto alla realtà.

Il passaggio successivo è stato una riclassificazione manuale delle unità catalogate come *step* e *waterfall* dal codice Matlab. Tale procedura è stata realizzata sulla base della classificazione proposta dal Manuale n.132/16 per le unità di canale, attraverso dei passaggi successivi:

- 1→ La selezione delle unità classificate come *step* e *waterfall* nella classificazione del quinquennio 2010-2015;
- 2→ La selezione delle unità corrispondenti a queste ultime nella classificazione del 2017;

- 3→ La consultazione delle mappe georiferite delle unità idromorfologiche e la misurazione della lunghezza e larghezza delle UMI da correggere, tramite software GIS;
- 4→ Il confronto di tali unità, tramite GIS e relative *Attribute Tables*, alle diverse condizioni di portata per entrambe le classificazioni realizzate, rispettivamente in campo (2010-2015) e tramite il codice (2017);
- 5→ Presa visione di foto dell'alveo realizzate durante i rilievi per verificare la morfologia del fiume;
- 6→ Analisi della pendenza del fondale e del dislivello massimo relativi ad ognuna di tali unità;
- 7→ Riclassificazione delle stesse.

Genericamente, lo schema decisionale che ha guidato la scelta della nuova tipologia di unità, può essere riassunto come segue (*Figura 4.2*).

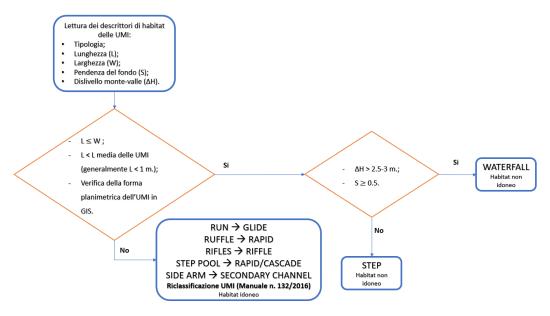


Figura 4.2. Diagramma di flusso relativo alla fase decisionale di riclassificazione di ogni UMI per tutti i rilievi. (Elaborazione propria).

Si riporta a titolo di esempio il caso studio del torrente Graines, per il quale sono stati realizzati 3 diversi rilievi rispettivamente alla portata di 40 l/s nel 2011, 570 l/s nel 2010 e 1053 l/s nel 2012 (*Tabella 4.1*). Il Graines è un piccolo torrente situato a circa 1480 m. s.l.m., caratterizzato da pendenza in media abbastanza elevata,

granulometria grossolana e frequenti salti e irregolarità del fondo. L'elaborazione di tutti gli altri casi oggetto del presente lavoro di tesi è descritta nell'*Appendice 3*.

	Graines								
	Data				26/11/2010				
Portata [l/s]			570						
	Classif.		lassif.				Lunghozzo	l avalanta	
N.	ИМІ	N.	ИМІ	ΔΗ	Pendenza	Lunghezza (calcolata) [m]	Lunghezza (misurata) [m]	Larghezza [m]	III Classif.
8	Waterfall	8	Step	-1.413	0.461	3.1	2.5	1.7	Step
14	Waterfall	14	Step	-0.838	0.346	2.4	2.2	2.9	Step
16	Waterfall	16	Step	-0.2	0.048	4.2	3	2.6	Step
18	Waterfall	18	Step	-1.983	0.986	2.0	0.6	3	Waterfall
20	Waterfall	20	Step	-1.277	0.464	2.8	1.4	3.8	Waterfall
23	Waterfall	23	Step	-1.55	0.394	3.9	5.5	1.7	Step
26	Waterfall	26	Step	-1.617	0.63	2.6	1.8	2.4	Waterfall
Data		28/11/2011							
Portata [l/s]									
1	Classif.	II C	lassif.	A / /	D	Lunghezza	Lunghezza	Larghezza	W 01if
N.	UMI	N.	ИМІ	ΔΗ	Pendenza	(calcolata) [m]	(misurata) [m]	[m]	III Classif.
25	Step pools	25	Step	-1.406	0.098	14.3	14.5	2.5	Cascade
24	Waterfall	24	Step	-0.168	0.036	4.7	4.6	1.7	Step
21	Waterfall	21	Step	-1.132	0.372	3.0	2.6	1.9	Step
9	Waterfall	9	Step	-1.605	0.595	2.7	3.1	0.8	Waterfall
8	Waterfall	8	Step	-1.255	0.464	2.7	2.7	0.6	Waterfall
Data		25/05/2012							
Portata [l/s]		1053							
ı	Classif.	II C	Classif.		Dondonzo	Lunghezza	Lunghezza	Larghezza	III Classif.
N.	UMI	N.	ИМІ	ΔΗ	Pendenza	(calcolata) [m]	(misurata) [m]	[m]	iii Ciassii.
15	Step pools	15	Step	-1.163	0.077	15.1	14.3	4.7	Pool
14	Waterfall	14	Step	-1.898	0.289	6.6	4.9	2.5	Step
11	Waterfall	11	Step	-1.265	0.265	4.8	4.5	4.7	Step
9	Step pools	9	Step	-0.504	0.042	12.0	11.9	5.3	Cascade
8	Waterfall	8	Step	-0.656	0.201	3.3	2.6	3.3	Step
5	Step pools	5	Step	-0.67	0.049	13.7	11.6	6.2	Cascade
3	Waterfall	3	Step	-1.105	0.243	4.5	2.9	4.7	Step
4	Waterfall	4	Step	-1.845	0.644	2.9	2.3	1.6	Waterfall
2	Step pools	2	Step	-1.301	0.086	15.1	13.5	5.8	Pool

Tabella 4.1. Tipologia di UMI assegnata nelle tre classificazioni e relativi dati di pendenza, dislivello (ΔH), larghezza e lunghezza. (Elaborazione propria).

All'aumentare della portata è facile che un'unità classificata *pool* diventi *glide*, è invece improbabile che diventi *rapid* o *riffle*, soprattutto se la variazione di portata è modesta. Generalmente, aumentando la portata aumenta l'area bagnata e quindi la larghezza stessa dell'alveo bagnato; fanno eccezione esclusivamente i fiumi che hanno argini artificiali e i canali, in quanto vincolati dalla presenza di tali opere di difesa. Per il Graines, in tutti e tre i rilievi si ha una predominanza di unità classificate come *waterfall* e *step-pool* nella I classificazione. Seguendo le fasi elencate in *Figura 4.2*, relativamente alle unità classificate come *waterfall*, solo alcune di esse sono realmente tali, molte invece sono state riclassificate come *step*; rispetto alle seconde (*step-pool*), invece, la maggior parte sono state riclassificate in *cascade* mentre quelle con pendenza troppo bassa sono state catalogate come *pool* (*Figura 4.3*).

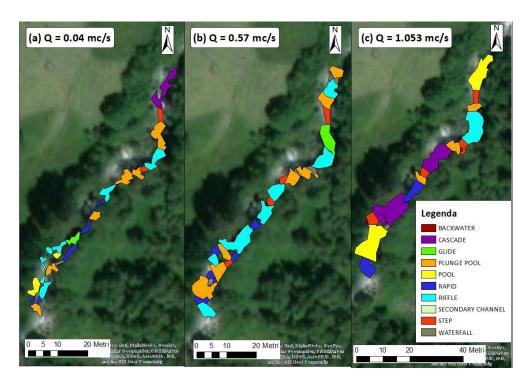


Figura 4.3. Mappe di classificazione delle unità idromorfologiche del torrente Graines a portata  $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  (a),  $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$  (b) e  $1.053 \text{ m}^3/\text{s}$  (c). (Elaborazione propria).

La correzione dei file di testo contenenti la classificazione delle unità è stata realizzata attraverso un codice Matlab; per maggiori informazioni vedasi *Appendice* 2.

# 4.2. Verifica della coerenza interna dei dati di profondità, velocità e substrato misurati in campo

La verifica dei dati di profondità, velocità e substrato è stata realizzata attraverso l'analisi delle curve di frequenza cumulata relative ad ogni rilievo, create attraverso un apposito codice su Matlab (vedasi *Appendice 2*).

Le curve di frequenza cumulata dei valori di profondità ottenute su Matlab sono riportate in *Figura 4.4*.

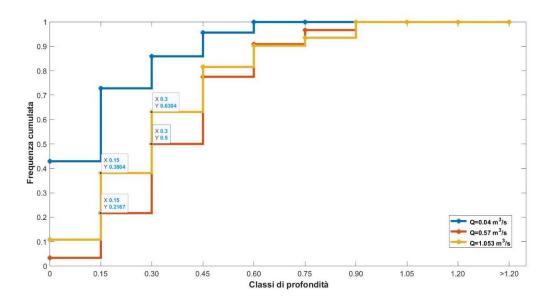


Figura 4.4. Curve di frequenza cumulata di profondità nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata nel torrente Graines. (Elaborazione propria).

Generalmente, all'aumentare della portata la profondità misurata nelle varie unità idromorfologiche dovrebbe anch'essa aumentare; per cui ci si aspetta che la curva di frequenza cumulata trasli verso dx man mano che la portata di deflusso aumenta. Nel caso ideale, le tre curve non dovrebbero intersecarsi in nessun punto; tuttavia, nella realtà ciò accade. La presenza di incongruenze di questo tipo può essere causata da errori compiuti durante la fase di misurazione della profondità in campo e, a volte, è possibile raggiungere anche un errore di 30 cm, determinato dalle diverse forme di fondo su cui viene poggiato lo strumento di misura (ad es. presenza di *boulders*, tipica dei torrenti montani come il Graines).

Riportando quanto detto al caso del Graines, rappresentato in *Figura 4.4*, la curva gialla corrispondente alla portata massima (1.053 m³/s) dovrebbe trovarsi sempre al di sotto di quella arancione, che è invece relativa alla portata 0.57 m³/s. Si considera accettabile l'inverso, solo quando lo scarto tra le due curve non supera una frequenza del 10% all'interno della classe. In questo caso, nelle classi di profondità 0.15-0.30 e 0.30-0.45 tale scarto supera il 10% della frequenza per cui è necessaria una correzione.

Si procede quindi alla correzione dei valori di profondità, intervenendo su quelle unità in cui sono state realizzate almeno sette misure di profondità. Nel caso specifico, sono stati modificati i valori di profondità del rilievo a portata maggiore (1.053 m³/s), relativi alle UMI 1, 2, 5, 9, 12 e 15. Il risultato ottenuto è riportato in *Figura 4.5*.

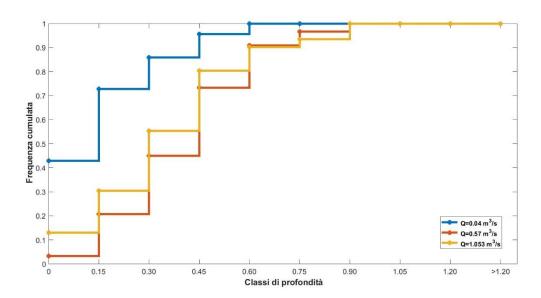


Figura 4.5. Curve di frequenza cumulata di profondità nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata del torrente Graines, dopo la correzione dei dati. (Elaborazione propria).

Per quanto riguarda la velocità, si riportano in *Figura 4.6* le curve di frequenza cumulata ottenute su Matlab.

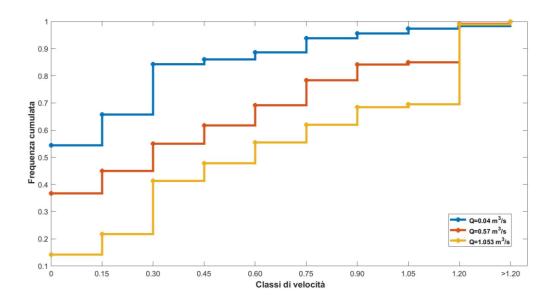


Figura 4.6. Curve di frequenza cumulata di velocità nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata del torrente Graines. (Elaborazione propria).

Come per la profondità, anche la velocità della corrente aumenta all'aumentare della portata; ci si aspetta quindi che le curve di frequenza cumulata si spostino verso destra per portate maggiori. Dalla *Figura 4.6* si nota che per il torrente Graines, le curve sono coerenti e non si intersecano in nessun punto; pertanto, in questo caso, non è necessaria alcuna correzione dei valori di velocità.

Tuttavia, può capitare che utilizzando il correntometro questo venga posizionato accanto o dietro un *boulder* del fondo, così da ottenere un valore di velocità misurato minore rispetto a quello reale. Un'altra incertezza della misura è legata alla sensibilità intrinseca dello strumento che è circa  $\leq \pm 2\%$  della lettura. L'insieme di queste incertezze può generare delle misure di velocità incoerenti e richiedere, quindi, un intervento di correzione, come è accaduto per altri casi studio (vedasi *Appendice 3*).

La frequenza cumulata delle tipologie di substrato, ottenuta attraverso il codice Matlab, è riportata in *Figura 4.7*.

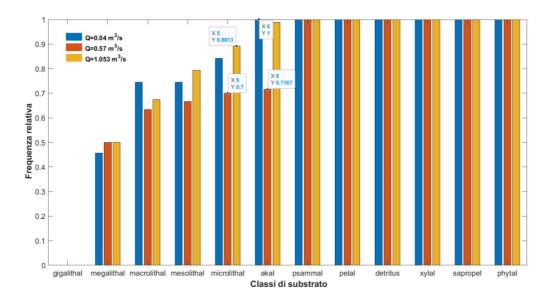


Figura 4.7. Frequenza cumulata della tipologia di substrato nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata del torrente Graines. (Elaborazione propria).

Il MesoHABSIM è un modello a fondo fisso, per cui si ipotizza che la tipologia di substrato non vari con la portata; ciò implica che dalla Figura 4.7 dovrebbe emergere una classificazione delle tipologie di substrato molto simile alle diverse portate. Nella valutazione della coerenza delle tipologie di substrato, si assume come riferimento la classificazione relativa alla portata più bassa, per cui si presume che l'ispezione visiva sia stata più semplice da realizzare (vedasi Capitolo 2.3.1), e si considera che generalmente all'aumentare della portata, aumenti l'area bagnata e quindi potrebbe aumentare leggermente probabilità di presenza di substrato fine (ad es. akal o psammal). Al diminuire della portata, invece, si assiste a fenomeni di corazzamento per cui può prevalere un substrato più grossolano, ovvero la frequenza è più alta per le classi poste a sinistra nel grafico (ad es. mesolithal, macrolithal). Tuttavia, si considera che per i fiumi valdostani, caratterizzati da pendenza non trascurabile e alveo confinato, processi come il corazzamento e l'estensione dell'alveo bagnato, risultano molto limitati; per cui si considera che la distribuzione di frequenza nelle diverse classi di substrato debba essere pressoché simile.

Si considera accettabile una differenza di frequenza ≤ 20% per rilievi a portate simili o, più precisamente, le cui aree bagnate sono simili; per portate alle quali

corrispondono estensioni dell'area bagnata molto diverse, le tipologie di substrato si considerano non confrontabili e si considerano accettabili anche discrepanze > del 20%.

Nel caso del torrente Graines, le differenze maggiori si visualizzano tra il rilievo a Q=0.57 m³/s e quello a Q=1.053 m³/s per la classe *microlithal* e tra il rilievo a Q=0.04 m³/s e quello a 0.57 m³/s per la classe *akal*. Riguardo l'errore in *akal*, questo è trascurabile, in quanto le due portate non risultano confrontabili in termini di area bagnata. L'errore in *microlithal*, invece, è sicuramente da correggere in quanto le due portate sono caratterizzate da superfici bagnate confrontabili e pertanto la loro frequenza di distribuzione non può discostarsi di più del 20%.

La correzione è stata realizzata aumentando il numero di punti classificati in *akal* e riducendo il numero dei punti appartenenti alla classe *psammal*, in corrispondenza delle UMI 3, 5, 19, 22, 24. La frequenza cumulata ottenuta è riportata in *Figura 4.8*.

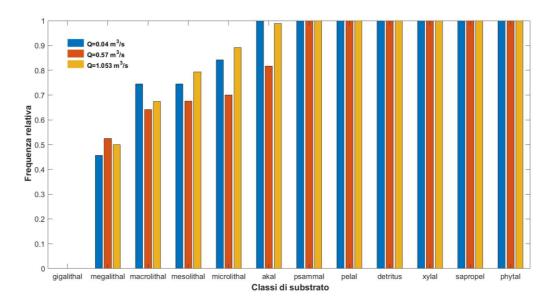


Figura 4.8. Curve di frequenza cumulata della tipologia di substrato nelle classi del metodo MesoHABSIM per i tre rilievi a valori diversi di portata del torrente Graines, dopo la correzione dei dati. (Elaborazione propria).

La procedura di correzione dei valori di profondità e velocità, e della tipologia di substrato è eseguita attraverso un procedimento "trial and error", allo scopo di trovare dopo una serie di tentativi la correzione più adeguata.

# 4.3. Verifica della variazione della disponibilità di habitat

Come descritto nel *Capitolo 2.4*, i dati di input corretti vengono caricati sul software SimStream per ottenere le relazioni habitat/portata. Per il torrente Graines, le specie target scelte sono *Brown trout* (*adult* e *juvenile*) e *Marble trout* (*adult* e *juvenile*), e le relazioni habitat/portata ottenute sono visualizzate in *Figura 4.9*.

# Habitat-flow rating curves 100 503 80 402 Channel area [%] Channel area [ m² 302 20 101 0 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 Discharge [m<sup>3</sup>/s] Legend Wetted area Adult marble trout Adult brown trout Juvenile trout

Figura 4.9. Relazione habitat/portata del torrente Graines, ottenuta attraverso 3 rilievi distinti per tutti gli stadi vitali di 2 specie ittiche (Brown Trout e Marble trout). (Elaborazione ottenuta mediante SimStream).

Le relazioni habitat/portata descrivono come cambia l'area disponibile per una specie in relazione alle condizioni di deflusso. Come precedentemente detto (*Capitolo 2.3.2*), aumentando la portata, aumenta l'area bagnata (linea tratteggiata in *Figura 4.9*) e quindi anche l'area potenzialmente disponibile per le specie. In relazione ai descrittori ambientali (profondità, velocità, substrato, pendenza etc) e al modello biologico delle specie, SimStream è in grado di determinare la quantità di habitat disponibile per le specie. Le curve di disponibilità dell'habitat per le specie (linee continue in *Figura 4.9*) dovrebbero avere un andamento monotono crescente o crescente fino a un massimo e poi decrescente; se ciò non accade è

necessario intervenire sui dati in input. In questo caso, l'andamento della variazione di disponibilità dell'habitat per le specie *Adult marble trout* e *Adult brown trout* è monotono crescente, per cui non è necessaria alcuna correzione. Per le specie *juvenile*, invece, la curva mostra un minimo in corrispondenza di un valore di portata pari a 0.57 m³/s; ciò implica che alcune unità classificate come *Optimal* o *Suitable* nel rilievo a portata inferiore e a quello a portata superiore, risultano erroneamente *Not Suitable* nel rilievo intermedio. Si procede ad un'analisi delle *Suitability Map*, ottenute come output di SimStream, per identificare quali siano le UMI in cui è presente tale anomalia e si modificano i valori di profondità, velocità e substrato di tali UMI, in relazione al modello biologico della specie *Juvenile trout*, per correggere l'andamento della curva. Il procedimento, del tipo "trial and error", richiede una serie di tentativi prima di individuare la correzione più opportuna e un'analisi dettagliata dei modelli di presenza e abbondanza delle specie al fine di comprendere quali classi di profondità, velocità e tipologia di substrato abbiano maggiore influenza per le singole specie.

Per il Graines, sono state selezionate le unità 11, 15 e 24 del rilievo a portata Q=0.57 m<sup>3</sup>/s, in quanto classificate *Optimal* per portate inferiori e superiori e *Suitable* alla portata intermedia (*Figura 4.10*). Tali unità idro-morfologiche sono state, quindi, trasformate da *Suitable* a *Optimal* attraverso la modifica di alcuni valori di profondità, velocità e substrato, sulla base delle curve di preferenza nel modello di abbondanza delle specie (*Tabella 4.2*). Le nuove mappe di idoneità sono riportate in *Figura 4.11*.

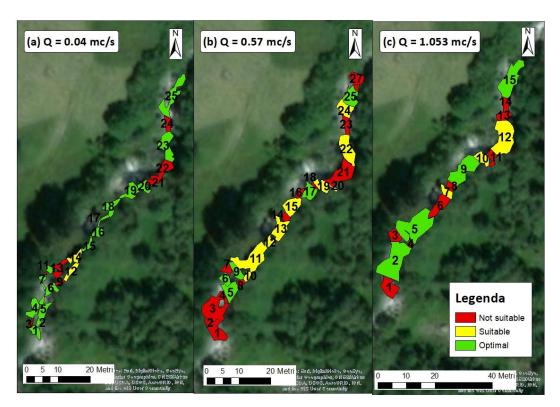


Figura 4.10. Mappe di idoneità dell'habitat per la specie Juvenile trout alla portata di  $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  (a),  $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$  (b) e  $1.053 \text{ m}^3/\text{s}$  (c) per il torrente Graines (Valle d'Aosta), prima della modifica. (Elaborazione propria).

Graines						
$Q = 0.57 \text{ m}^3/\text{s}$						
	PRE			POST		
UMI	Profondità	Velocità	Substrato	Profondità	Velocità	Substrato
	[m]	[m/s]	Gubotrato	[m]	[m/s]	Cuboliuto
	0.3	0.13	PSAMMAL	0.5	0.09	PSAMMAL
	0.35	1.27	MEGALITHAL	0.3	0.05	MEGALITHAL
	0.5	1.02	MACROLITHAL	0.5	0.02	MEGALITHAL
	0.35	1.32	MEGALITHAL	0.55	0.13	MEGALITHAL
11 RIFFLE	0.45	0.22	PSAMMAL	0.62	0.98	PSAMMAL
	0.78	0.05	PSAMMAL	0.41	0.05	PSAMMAL
	0.41	0.6	MACROLITHAL	0.65	0.78	MEGALITHAL
	0.55	0.75	PSAMMAL	0.62	0.22	PSAMMAL
	0.39	0.29	MICROLITHAL	0.45	0.29	MEGALITHAL
	0.5	0.56	MACROLITHAL	0.55	0.09	MACROLITHAL
	0.39	0.17	PSAMMAL	0.28	0.05	PSAMMAL
15 RIFFLE	0.55	0.67	MEGALITHAL	0.5	0.02	MEGALITHAL
13 KIFFLE	0.68	0.23	MEGALITHAL	0.55	0.1	MEGALITHAL
	0.81	1	MEGALITHAL	0.68	1	MEGALITHAL
	0.55	0.16	PSAMMAL	0.39	0.04	PSAMMAL
	0.4	0.69	MEGALITHAL	0.55	0.9	MEGALITHAL
	0.22	0.51	AKAL	0.51	0.09	AKAL
	0.36	1.47	MEGALITHAL	0.51	0.11	MEGALITHAL
24 PLUNGE POOL	0.45	0.08	AKAL	0.81	0.17	AKAL
	0.28	0.49	AKAL	0.7	0.07	AKAL
	0.5	0.09	AKAL	0.63	0.49	AKAL
	0.55	0.11	MEGALITHAL	0.85	0.08	MEGALITHAL

Tabella 4.2. Valori di profondità, velocita e tipologia di substrato modificati all'interno delle unità 11, 15 e 24 del rilievo realizzato sul torrente Graines in condizioni di deflusso pari a 0.57 m<sup>3</sup>/s. I valori in blu sono quelli modificati. (Elaborazione propria).

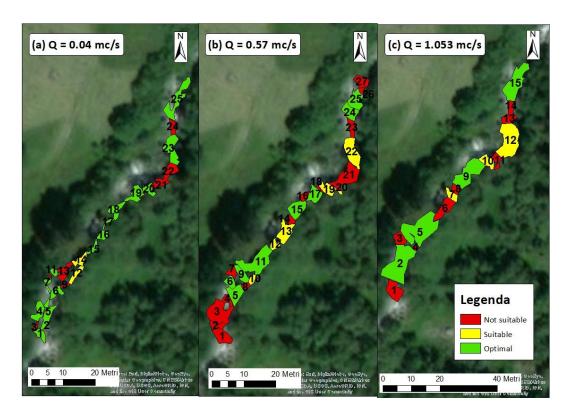


Figura 4.11. Mappe di idoneità dell'habitat per la specie Juvenile trout alla portata di  $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  (a),  $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$  (b) e  $1.053 \text{ m}^3/\text{s}$  (c) per il torrente Graines (Valle d'Aosta), a seguito della modifica. (Elaborazione propria).

Caricando nuovamente i dati su SimStream, le relazioni habitat/portata ottenute risultano prive di anomalie (*Figura 4.12*).

#### Habitat-flow rating curves

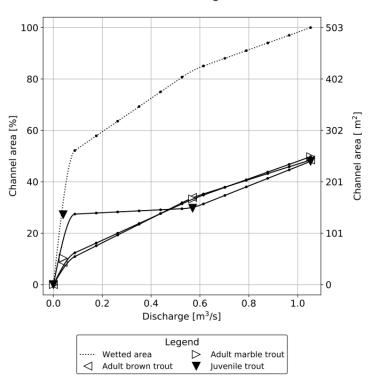


Figura 4.12. Relazione habitat/portata del torrente Graines, ottenuta attraverso 3 rilievi distinti per tutti gli stadi vitali di 2 specie ittiche (Brown Trout e Marble trout), a seguito della correzione dei dati. (Elaborazione ottenuta mediante SimStream).

I dati di input modificati vengono nuovamente sottoposti a verifica attraverso l'analisi delle curve di frequenza cumulata (vedasi *Capitolo 4.2*); se i dati risultano coerenti, il processo di elaborazione è concluso e, caricando in SimStream i dati di input e le serie di portata, è possibile procedere alla corretta stima dell'indice IH.

# 5. Applicazione dell'indice di Integrità dell'habitat – Fiume Dora Baltea a Quincinetto

# 5.1. Centrale idroelettrica di Quincinetto

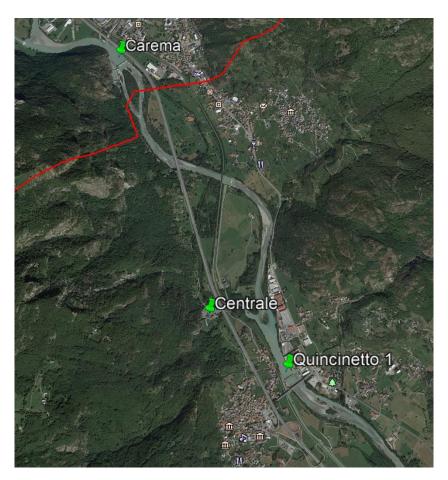


Figura 5.1. Centrale di Quincinetto. (Elaborazione a partire da Google Earth).

L'impianto di Quincinetto è situato sull'asta fluviale della Dora Baltea al confine tra la Valle d'Aosta, dove si trova l'opera di presa, e il Piemonte, dove è situata la centrale (*Figura 5.1*). Dall'autostrada Torino - Aosta, che lo costeggia, sono ben visibili la grotta della vasca di carico, addossata alla montagna e la stazione elettrica. Il bacino imbrifero di riferimento è quello dell'intero corso della Dora Baltea in Valle d'Aosta, pari all'estensione della superficie della regione (3262 km²). Esso consente una produzione media di circa 120 GWh. L'impianto attuale, denominato Quincinetto 2, nasce dall'unione di due impianti preesistenti: quello di

Carema, realizzato agli inizi del Novecento (4,5 MW) e quello di Quincinetto 1, realizzato nel 1919 (3 MW). Lo sbarramento del nuovo impianto, realizzato negli anni 1988 - 1989, laddove sorgeva lo sbarramento della centrale di Carema, è costituito da 3 grandi paratoie larghe 26 metri ciascuna e da una più piccola di 8 metri (*Figura 5.2*). Le paratoie sono manovrate e gestite in automatico per mantenere costante il livello dell'acqua alla quota di 305.10 metri s.l.m. nel bacino creato dallo sbarramento.





Figura 5.2. Opera di sbarramento a Quincinetto. (Elaborazione propria).

Sulla sponda orografica destra, attraverso grandi griglie dotate di un sistema di pulizia automatico, vengono derivati un massimo di 110 m³/s di acqua; questa viene convogliata attraverso vasche di sghiaiamento e dissabbiatrici all'imbocco della galleria di derivazione, lunga 2300 metri, verso la centrale. Dalla vasca di carico partono due enormi condotte forzate che con un salto di 24 metri alimentano i due gruppi generatori ad asse verticale mossi da turbine Kaplan di potenza totale di 22 MW (fonte *CVA*, *Compagnia Valdostana delle Acque*).

Per lo studio dell'impatto sulla disponibilità di habitat, il rilievo è stato realizzato subito a valle dell'opera di presa per una lunghezza complessiva di circa 600 metri.

# 5.2. Dati di Input per il calcolo delle relazioni Habitat/Portata

Ai fini del calcolo delle relazioni Habitat/Portata per la Dora Baltea a Quincinetto è necessario avere a disposizione i seguenti dati di input per l'utilizzo del software SimStream:

 Mappa georiferita delle unità idro-morfologiche del tratto considerato, correttamente classificate e caratterizzate in termini di pendenza del pelo libero e presenza/assenza di zone di rifugio;  Dati puntuali di velocità della corrente, profondità dell'acqua e tipologia di substrato per ogni UMI;

(vedasi Paragrafo 2.4.1).

Tuttavia, si è resa necessaria una metodologia di raccolta dati differente rispetto ai rilievi precedenti, in quanto per portate superiori a 6.5 m³/s sarebbe risultato pericoloso guadare il fiume. La procedura di raccolta dati classica, descritta nel *Paragrafo 2.3.1* e realizzata in data 21 ottobre 2020 per un valore del flusso in alveo pari a 6.5 m³/s, è stata integrata con un rilievo batimetrico e con un'acquisizione fotogrammetrica, realizzati in data 21 dicembre 2020, a partire dalle quali il gruppo di eco-idraulica del DIATI, ha implementato un modello idrodinamico bidimensionale. Mediante la simulazione del campo di moto attraverso il software HEC-RAS sono stati ottenuti dati puntuali di velocità e profondità relativi a differenti condizioni di deflusso. Inoltre, dalle immagini raster ottenute dalle varie simulazioni, è stato possibile valutare l'estensione dell'area bagnata e definire le varie unità idro-morfologiche al variare della portata. La tipologia di substrato biotico e abiotico è stata individuata operando in ambiente GIS sulle ortofoto generate dal rilievo fotogrammetrico.

# 5.2.1. Rilievo batimetrico

La prima fase di raccolta dati ha incluso la definizione e caratterizzazione delle UMI e la misura all'interno di ognuna dei valori di velocità della corrente, profondità dell'acqua e della tipologia di substrato, per un valore della portata in alveo pari a 6.5 m<sup>3</sup>/s, attraverso i metodi e gli strumenti descritti nel *Paragrafo 2.3.1* (*Figura 5.3*).



Figura 5.3. Raccolta dati di profondità dell'acqua e velocità della corrente tramite correntometro elettromagnetico. (Elaborazione propria).

La raccolta dati in campo ai fini della modellazione idrodinamica bidimensionale del corso d'acqua richiede, invece, un modello digitale dettagliato della topografia dell'area e precise misurazioni della batimetria e del campo di flusso.

La tecnica utilizzata per l'acquisizione dei dati batimetrici del corso d'acqua si basa sul RiverSurveyor M9 della SonTek, un dispositivo robusto ed estremamente accurato di Acoustic Doppler Profiler (ADP), integrato ad un ecoscandaglio multiraggio di precisione e progettato in particolare per misure di profondità, velocità e portata del fiume. I parametri di base sono riportati nella *Tabella 5.1*.

Velocity Measurement					
Profiling Range (Distance)	0.06 to 40 m				
Profiling Range (Velocity)	±20 m/s				
Accuracy	$\pm 0.25\%$ of measured velocity				
Resolution	0.001 m/s				
Number of Cells	Up to 128				
Cell Size	0.02 to 4 m				
	9 Transducers				
Transducer Configuration	Dual 4-beam 3.0 MHz/1.0MHz				
Transducer Configuration	Janus at 25° Slant Angle				
	0.5 MHz Vertical Beam				
Depth Measurement					
Range	0.20 to 80 m				
Accuracy	1%				
Resolution	0.001 m				
Discharge Measurement					
Range with Bottom Track	0.3 to 40 m				
Range with RTK GPS	0.3 to 80 m				
Computations	Internal				

Tabella 5.1. Parametri specifici di base del RiverSurveyor M9. (Web)

In particolare, con questa tecnica possono essere registrate due diverse modalità di misura della profondità: il tracciamento del fondale (Bottom Track depth) e il fascio verticale (Vertical Beam depth). La prima è utilizzata per misurare la velocità dell'imbarcazione rispetto al suolo, particolarmente utile quando si perde il segnale GPS, ma restituisce valori poco precisi della profondità. In alternativa, l'utilizzo del fascio verticale, integrato all'opzione GPS RKT, che garantisce un posizionamento ultra-preciso, permette di ottenere valori di profondità dell'acqua più accurati.

Al contempo, per ogni punto viene misurata la velocità media e calcolato il profilo di velocità lungo ogni singola colonna d'acqua; l'insieme di queste colonne restituisce la griglia della velocità media dell'intera sezione.

Il funzionamento si basa sull'effetto Doppler generato dalle onde emesse dallo strumento e da quelle del flusso d'acqua. La frequenza dell'acquisizione temporale è di 1 secondo ed è possibile tenere conto degli spostamenti relativi rispetto al punto iniziale. A completamento del sistema di acquisizione è installata un'antenna a doppia frequenza GNSS (Global Navigation Satellite System), che acquisisce ad intervalli di 4 secondi, così che ogni 3 punti di misura almeno uno sia

georeferenziato. L'insieme dei dispositivi sopraelencati viene posizionato e fissato su una piattaforma galleggiante (*Figura 5.4*).



Figura 5.4. Dispositivo ADP installato su una piattaforma galleggiante che acquisisce dati di profondità e velocità. (Elaborazione propria).

Per il monitoraggio delle misure in tempo reale e anche per la successiva elaborazione dei dati si utilizza il software RiverSurveyor Live, che permette di estrarre i dati acquisiti e visualizzare il percorso seguito dallo strumento. Il software restituisce in output la forma del letto del torrente, la traccia georiferita dei dispositivi, la profondità del pelo libero e la griglia della velocità attuale in ogni sezione (*Figura 5.5*). Operando su una sezione appropriata del corso d'acqua, questa tecnica permette la misura del valore di portata in alveo.

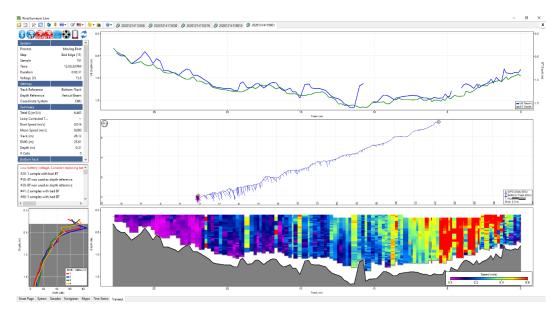


Figura 5.5. Output forniti dal software RiverSurveyor Live per un tratto del fiume Dora Baltea. Dall'alto si può vedere la rappresentazione del letto del torrente, quindi i valori di profondità misurati sia dal fascio verticale (VB) che dal tracciamento del fondale (BT); a seguire si può osservare il tracciato su una planimetria N-E e nell'ultimo riquadro è visualizzata la griglia di calcolo della velocità media corrente. La portata calcolata è pari a 6.5 m³/s. (Software RiverSurveyor Live).

# 5.2.2. Rilievo topografico

I rilievi fotogrammetrici sono stati realizzati in concomitanza a quelli batimetrici, utilizzando un'antenna a doppia frequenza, la stessa usata sulla piattaforma galleggiante, e un drone a pilotaggio remoto DJI Mavic 2 Pro (*Figura 5.6*). Il lavoro in campo è stato articolato in due fasi: la prima ha mirato a posizionare un numero sufficiente di GCP (Ground Control Points) distribuiti su tutta l'area di interesse, al fine di operare una corretta georeferenziazione dell'ortofoto fornita dal metraggio del drone; durante la seconda fase è stato definito un piano di volo e solo in seguito è stata realizzata l'acquisizione in volo dal drone. I fotogrammi sono stati elaborati dal gruppo di eco-idraulica del DIATI tramite il software PIX4D. La post-elaborazione delle immagini ha fornito l'ortomosaico RGB del fiume Dora Baltea a Quincinetto (risoluzione spaziale del suolo 2 cm e 10 cm), il DSM (Digital Surface Model) e il DTM (Digital Terrain Model).



Figura 5.6. Drone DJI Mavic 2 Pro utilizzato per il rilievo topografico lungo la Dora Baltea a Quincinetto. (Web).

# **5.2.3.** Modellazione bidimensionale HEC-RAS

Per l'analisi dei dati idromorfologici, il gruppo di eco-idraulica del DIATI ha eseguito una calibrazione del modello batimetrico al fine di ottenere un DTM corretto dell'area di interesse, da utilizzare come base di partenza per la modellazione idrodinamica. Attraverso l'analisi simultanea dei valori di profondità fittizi, acquisiti tramite rilievo fotogrammetrico (o topografico) e quelli misurati tramite acquisizione batimetrica (considerati come reali) è stato possibile ricavare l'equazione di correzione da applicare al DTM (*Figura 5.7*).

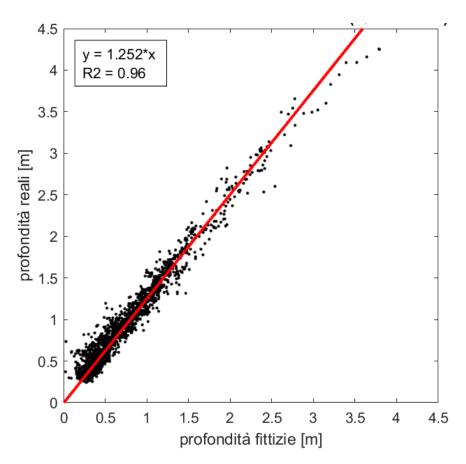
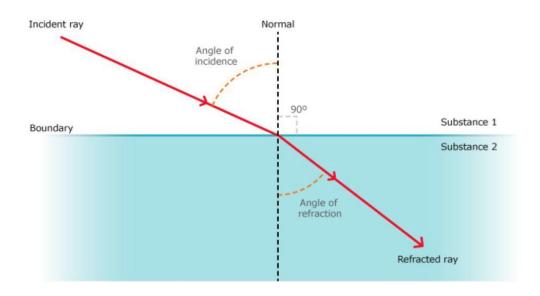


Figura 5.7. Scatter Plot di calibrazione del modello batimetrico. (Gruppo di ecoidraulica del DIATI).

Il valore elevato del coefficiente di determinazione R2 (0.96) indica una correlazione significativa tra la distribuzione del campione di dati e il modello statistico implementato.

La necessità di tale correzione è dovuta alla presenza di un errore commesso in fase di acquisizione del dato a causa dell'effetto di rifrazione (*Figura 5.8*).

## Refraction of light



© Copyright, 2012, University of Waikato, All Rights Reserved,

Figura 5.8. Fenomeno di rifrazione del fascio luminoso tra due mezzi di propagazione con differenti caratteristiche di densità.

La direzione del fascio subisce una deviazione nel passaggio da uno strato meno denso (aria) a uno più denso (acqua), determinando una sovrastima della misura di profondità. Tale effetto è descritto dalla seguente equazione:

$$D_f = D_r \cdot \frac{n_{aria}}{n_{acqua}} \tag{5.1}$$

Dove

n è il coefficiente di rifrazione del mezzo,

 $D_f$  è la profondità fittizia

 $D_r$  è quella reale, ottenuta dalla correzione.

La ricostruzione del tirante idraulico del corso d'acqua è stata realizzata tramite software GIS ed è stato così ottenuto il DTM corretto.

La simulazione idrodinamica sul corso del fiume Dora Baltea a Quincinetto è stata eseguita a partire dal DTM della zona emersa e di quella umida, tramite il software HEC-RAS (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis, California). Questo software è ampiamente utilizzato per la ricostruzione del flusso di fluidi in canali naturali e artificiali, e offre l'opportunità di simulare sistemi monodimensionali o bidimensionali, e condizioni di flusso stazionarie e non stazionarie. Il software risolve le principali equazioni della dinamica di un fluido: le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto (Brunner, 2016). In particolare, dall'analisi delle curve di durata delle portate (*Figura 5.9*) sono stati scelti tre valori rappresentativi di portata in alveo da utilizzare per il calcolo dell'IH:

- la Q<sub>97</sub>, pari a circa 20 m<sup>3</sup>/s;
- il DMV rilasciato dalla presa nell'anno 2020, pari a 6.5 m<sup>3</sup>/s;
- la  $Q_{50}$ , circa pari a 50 m<sup>3</sup>/s.

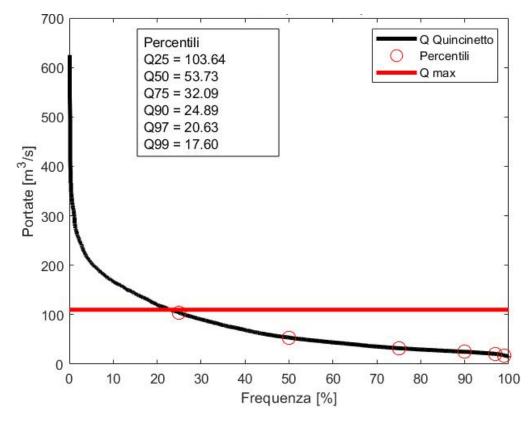


Figura 5.9. Curva di durata delle portate per il tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto in condizioni di deflusso non alterate. (Elaborazione propria).

Per i valori di deflusso sopraelencati sono state realizzate tramite il software HEC-RAS le tre simulazioni della Dora Baltea a Quincinetto (*Figura 5.10*), da cui è stato possibile, lavorando in ambiente GIS, operare una classificazione delle principali unità idromorfologiche costituenti l'alveo, definire la pendenza del pelo libero e la presenza/assenza di zone di rifugio per la fauna ittica, individuare la tipologia di substrato biotico e abiotico e ricavare i dati puntuali di profondità dell'acqua e velocità della corrente all'interno di ogni unità.

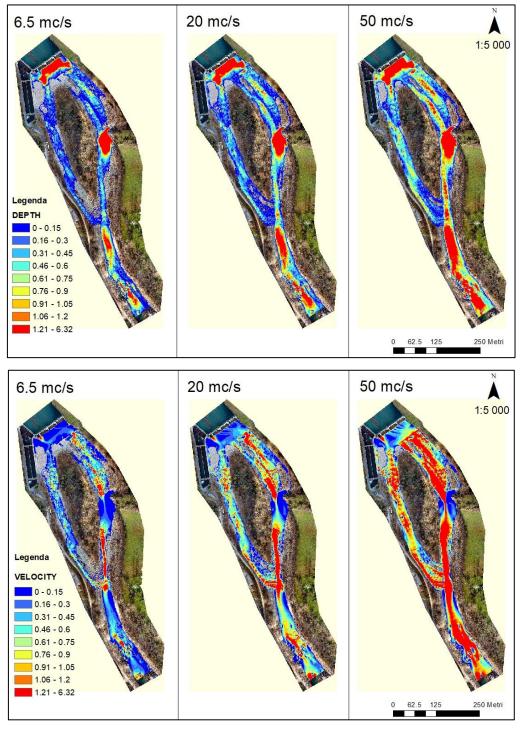


Figura 5.10. Valori simulati di profondità dell'acqua e velocità della corrente per tre condizioni di portata (6.5 m³/s, 20 m³/s e 50 m³/s) nel tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto. (Software HEC-RAS).

### 5.2.4. Estrazione dei dati di profondità, velocità e substrato

Per ognuna delle tre simulazioni è stata definita la tipologia di substrato biotico e abiotico, sono state delineate le principali unità idro-morfologiche costituenti l'alveo bagnato, per ciascuna delle quali sono stati estratti i dati puntuali di velocità della corrente, profondità dell'acqua e tipologia di substrato.

La tipologia di substrato, in parte già rilevata durante la raccolta dati in campo del 21 ottobre, è stata integrata da un'analisi di quella parte dell'alveo che nelle condizioni di deflusso presenti durante il rilievo non risultava sommersa ma che, invece, alle portate simulate si presenta coperta d'acqua. Tale osservazione è stata realizzata sull'ortofoto in ambiente GIS, attraverso l'ausilio di vari tool di misura. L'identificazione delle principali unità idro-morfologiche costituenti l'alveo è stata effettuata a partire dai raster di profondità dell'acqua e velocità della corrente ottenuti dalle varie simulazioni tramite il software HEC-RAS (vedasi *Figura 5.10*) e dall'ortofoto del tratto di interesse. Le unità sono state delineate tramite software GIS e caratterizzate in termini di tipologia (POOL, RAPID etc), pendenza del pelo libero e presenza/assenza dei vari descrittori ambientali (CONNECTIVITY, BOULDERS etc).

Successivamente, per ogni UMI sono stati estratti i valori puntuali di velocità della corrente e profondità del pelo libero tramite il tool 'Zonal Histogram' di ArcGIS e i dati riguardanti il substrato attraverso lo 'Spatial Join' sempre in ambiente GIS.

I dati così ottenuti sono stati rielaborati, tramite il software Matlab, mantenendo la stessa distribuzione di frequenza nelle varie classi di velocità, profondità e tipologia di substrato, al fine di ottenere un campione standard di cento elementi per ogni unità.

I dati sono poi stati caricati sul software SimStream, attraverso cui è stato possibile ottenere le relazioni Habitat disponibile/Portata defluente, per le specie Marble Trout (stadio vitale adulto e giovane), Vairone (stadio vitale adulto e giovane) e Bullhead (stadio adulto).

## 5.3. Dati di input per il calcolo dell'IH

Al fine del calcolo dell'IH, oltre ai dati idro-morfologici (vedasi *Paragrafo 5.2*) sono necessarie anche le serie di portata giornaliera riferite al fiume Dora Baltea a Quincinetto in condizioni di deflusso naturale, ovvero senza considerare le alterazioni al regime idrologico dovute alla presa idraulica.

#### **5.3.1.** Serie di reference

Le serie storiche di portata sono state ottenute a partire dai dati CVA contenenti:

- La portata turbinata dall'impianto di Quincinetto incluso il valore di DMV, relativa al periodo 2008-2020;
- La portata massima derivabile dall'impianto di Quincinetto, pari a 110 m<sup>3</sup>/s;
- La portata di riferimento, relativa ai valori di deflusso misurati nel periodo 2018-2020 a monte della traversa di Quincinetto e, pertanto, in condizioni di regime non alterato;
- La portata in alveo misurata nel periodo 2008-2020 dall'idrometro di Tavagnasco, situato più a valle di Quincinetto.

(vedasi Figura 5.11).

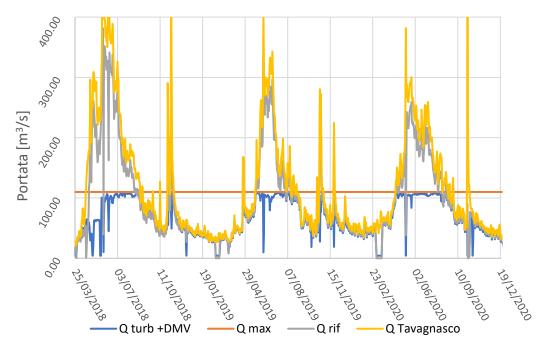


Figura 5.11. Serie storiche di portata del fiume Dora Baltea per il periodo 2018-2020. (Fonte CVA).

Al fine di garantire una descrizione esaustiva del regime idrologico, la stima delle portate con le relative durate e frequenze di accadimento e la variabilità temporale dell'habitat disponibile nel corso d'acqua, è opportuno disporre di una serie temporale di portata abbastanza lunga. La soglia minima definita dal Manuale 154/2017 dell'ISPRA è di 15 anni; tuttavia, per la definizione del deflusso ecologico e per la valutazione d'impatto ambientale delle derivazioni è concesso l'utilizzo di serie di portate di lunghezza inferiore ma, in ogni caso, almeno pari a 3 anni.

Per tale ragione, a partire dalle portate misurate dall'idrometro di Tavagnasco è stato possibile, tramite un modello di regressione lineare, stimare il valore della portata della Dora Baltea a Quincinetto nel periodo 2008-2017, estendendo così la lunghezza della serie storica di portata da 3 a 13 anni.

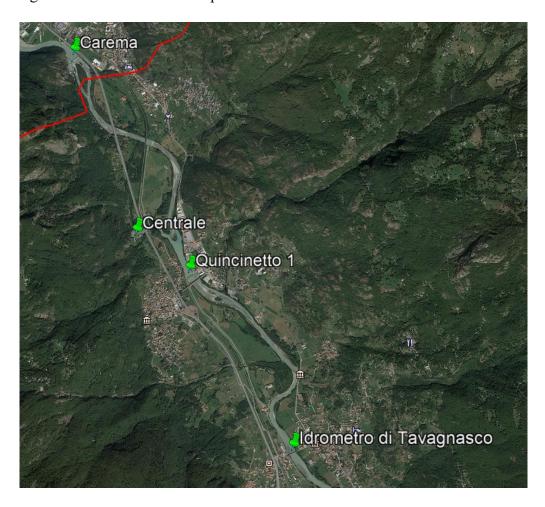


Figura 5.12. Centrale di Quincinetto e idrometro di Tavagnasco. (Elaborazione a partire da Google Earth).

Come è visibile in *Figura 5.12*, l'idrometro di Tavagnasco, che si trova più a valle della derivazione di Quincinetto, fa riferimento a un'area del bacino idrografico della Dora Baltea pari a 3294 km² (fonte *Autorità di bacino del fiume Po (Parma)* – *Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi sul bacino della Dora Baltea);* l'area del bacino idrografico della Dora Baltea a Quincinetto è invece pari a 3262 km² (fonte *CVA*), per cui l'area del bacino a Tavagnasco è circa l'1-2% maggiore di quella a Quincinetto.

Si è scelto di fare riferimento all'idrometro di Tavagnasco, in quanto l'opera di derivazione a Carema preleva acqua dal fiume e la reimmette circa 2.5 km più a valle (in *Figura 5.12*, subito a valle della centrale). Dopo 500 metri, è presente un altro canale di derivazione (Quincinetto 1, in *Figura 5.12*) che si rigetta nel fiume solo poche centinaia di metri a monte di Tavagnasco. Per cui, il valore di portata misurato dall'idrometro di Tavagnasco è pari all'intero valore di portata naturale della Dora Baltea e quindi riconducibile a uno scenario non alterato.

Attraverso l'analisi simultanea dei valori di portata misurati a Tavagnasco e quelli misurati a Quincinetto negli anni 2018-2020 è stato possibile applicare un modello statistico di regressione lineare. Al fine di aumentare l'accuratezza del modello, sono stati eliminati dalla serie i valori di portata corrispondenti ai giorni di malfunzionamento dell'idrometro e quindi a una misura falsata delle condizioni di flusso in alveo. Il valore elevato del coefficiente di determinazione R2 (0.99) indica una correlazione significativa tra la distribuzione del campione di dati e il modello statistico implementato (*Figura 5.13*).

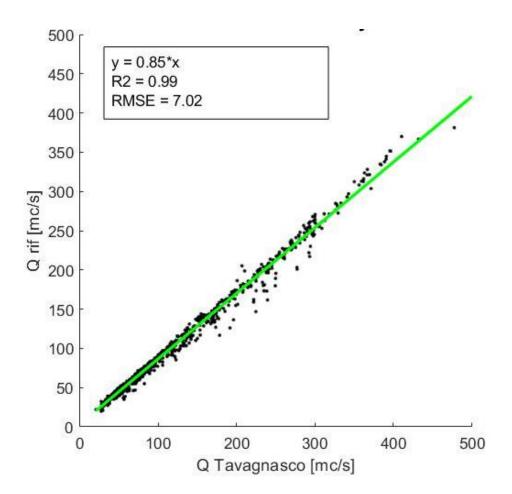


Figura 5.13. Scatter plot e modello di regressione lineare tra le portate di riferimento misurate a Quincinetto e quelle misurate dall'idrometro di Tavagnasco sulla Dora Baltea nel periodo 2018-2020. (Elaborazione propria tramite software Matlab).

L'equazione ottenuta dal modello e riportata di seguito (*Equazione 5.2*), è stata quindi utilizzata per la stima dei valori mancanti di portata a Quincinetto in condizioni di deflusso non alterate, negli anni precedenti al 2018.

$$Q_{Rif} = 0.85 \cdot Q_{Tavagnasco}$$
 [5.2]

Dove,

 $Q_{Rif}$  è la portata di riferimento, cioè la portata in alveo a Quincinetto in condizioni non alterate;

 $Q_{Tavagnasco}$  è la portata misurata dall'idrometro di Tavagnasco.

La serie di portata di riferimento relativa a condizioni di flusso non alterato della Dora Baltea a Quincinetto per il periodo 2008-2020 è riportata in *Figura 5.14*.

Questi valori saranno quelli utilizzati corrispondenti alla serie di riferimento (condizioni non alterate del naturale deflusso) per il calcolo dell'IH tramite il software SimStream.

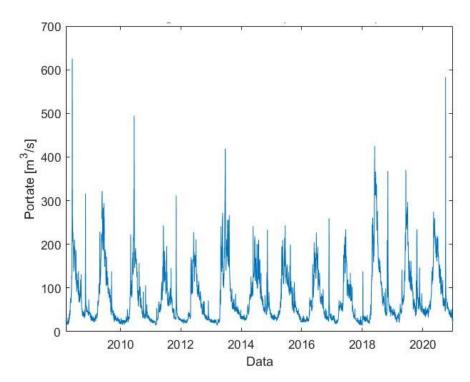


Figura 5.14. Idrogramma della portata di reference relativa al fiume Dora Baltea a Quincinetto per il periodo 2008-2020. (Elaborazione propria).

#### 5.3.2. Scenari alterati

Ai fini del calcolo dell'IH, oltre alla serie di riferimento, sono stati considerati quattro scenari di rilascio a valle dell'opera di presa (*Tabella 5.2*):

Mese	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Gennaio	2.1	4.2	2.1 + 30%	10 + 30%
Febbraio	2.1	4.2	2.1 + 30%	10 + 30%
Marzo	2.1	4.2	2.1 + 30%	10 + 30%
Aprile	2.1	4.2	2.1 + 60%	10 + 60%
Maggio	2.1	4.2	2.1 + 50%	10 + 50%
Giugno	2.1	4.2	2.1 + 70%	10 + 70%
Luglio	2.1	4.2	2.1 + 40%	10 + 40%
Agosto	2.1	4.2	2.1 + 60%	10 + 60%
Settembre	2.1	4.2	2.1 + 40%	10 + 40%
Ottobre	2.1	4.2	2.1 + 60%	10 + 60%
Novembre	2.1	4.2	2.1 + 30%	10 + 30%
Dicembre	2.1	4.2	2.1 + 30%	10 + 30%

Tabella 5.2. Valori mensili di rilascio a valle dell'opera di presa per i diversi scenari. (I valori numerici sono i rilasci fissi in m³/s; i valori in % rappresentano la percentuale della portata naturale misurata in condizioni non alterate a monte della presa). (Elaborazione propria).

Lo scenario 1 corrisponde al DMV rilasciato dall'opera di presa negli anni 2008-2011; lo scenario 2, invece, corrisponde al DMV rilasciato dall'opera di presa negli anni 2012-2020;

Gli scenari 3 e 4 sono stati proposti sommando a un valore fisso del DMV una percentuale della portata misurata a monte dell'opera idraulica. Tale valore è stato scelto tra vari tentativi allo scopo di mantenere anche a valle della presa l'andamento stagionale del flusso di portata in condizioni non alterate. Osservando l'idrogramma di piena annuale del fiume Dora Baltea (*Figura 5.15*) si notano valori

bassi della portata in alveo nei mesi invernali mentre tali valori aumentano durante i mesi estivi a causa dello scioglimento nivale. La scelta dei valori percentuale segue tale andamento.

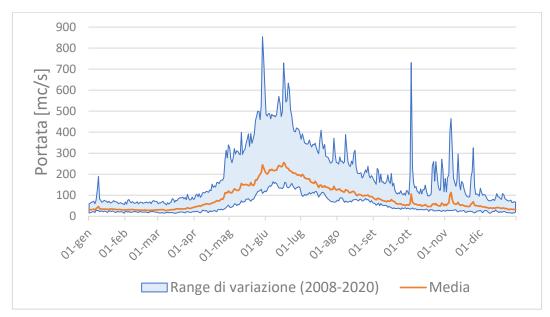


Figura 5.15. Range di variazione della portata e idrogramma annuale medio del fiume Dora Baltea a Quincinetto relativo agli anni 2008-2020. (Elaborazione propria).

Si evidenzia inoltre che le percentuali particolarmente alte non incidono molto sulla quantità di portata turbinata dalla presa idroelettrica in quanto si verificano nei mesi estivi, ovvero nei mesi di piena, dove la portata in alveo tendenzialmente supera di molto la massima portata turbinabile dall'impianto, pari a 110 m³/s, per cui un consistente contributo al DMV è dato dagli sfiori.

### 5.4. Discussione dei risultati

I dati idro-morfologici derivanti dal rilievo in campo e dalle serie di portata giornaliera ricostruite per la presa di Quincinetto, sono quindi stati inseriti nel software SimStream, e sono state calcolate le relazioni Habitat/Portata e l'indice IH per diversi scenari di utilizzo della risorsa idrica.

Per il tratto analizzato, le relazioni Habitat/Portata ottenute mostrano come l'andamento dell'habitat disponibile in relazione alla portata defluente cambi a secondo della specie target considerata (*Figura 5.16*).

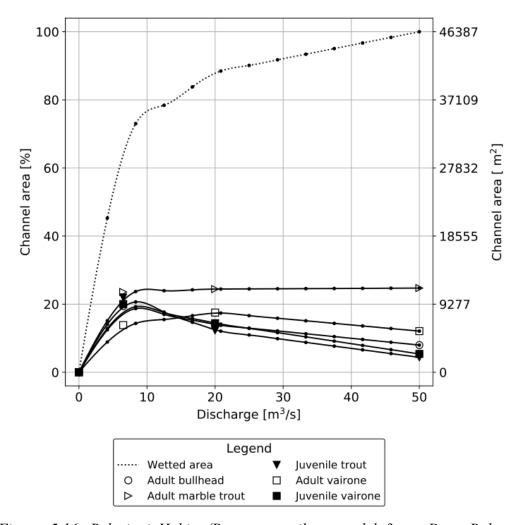


Figura 5.16. Relazioni Habitat/Portata per il tratto del fiume Dora Baltea a Quincinetto in riferimento a 5 specie ittiche (adult e juvenile Marble trout, adult e juvenile Vairone, adult Bullhead) e a 3 valori di portata (6.5 m³/s, 20 m³/s, 50 m³/s). (Elaborazione ottenuta tramite il software SimStream).

Per le specie Adult Marble Trout tale andamento è monotono crescente, per cui l'habitat disponibile tendenzialmente aumenta all'aumentare della portata in alveo. Tuttavia, a parità di variazione di portata, l'habitat tende ad aumentare repentinamente per bassi valori di flusso e ad aumentare sempre più lentamente man mano che ci si sposta verso la parte destra del grafico. Si osserva una scarsa disponibilità di habitat per valori di portata in alveo inferiori a circa 7 m³/s; mentre, per valori maggiori di 10 m³/s, l'habitat disponibile tende a stabilizzarsi intorno al 20-25% dell'area bagnata.

Per le altre specie, invece, la relazione non ha andamento monotono e si osserva un massimo dell'habitat disponibile intorno a un valore di portata di 9 m³/s, mentre all'aumentare o al diminuire della portata questo tende a ridursi. Fa eccezione lo stadio adulto del Vairone, per il quale il valore massimo dell'habitat si raggiunge per valori di portata più alti (circa 20 m³/s). Ciò indica come condizioni di deflusso più vicini alla piena ordinaria determinino un aumento della velocità della corrente e della profondità dell'acqua con conseguente effetto negativo per le specie di dimensioni più piccole e per gli stadi giovanili.

A titolo di esempio, in *Figura 5.17 e 5.18* si riportano le mappe di idoneità relative alla specie Marble Trout, stadio vitale giovane e adulto, per il tratto del fiume Dora Baltea.

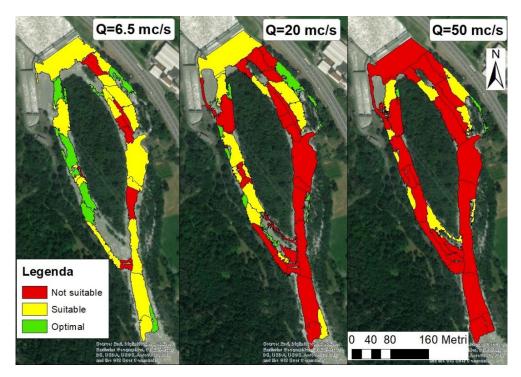


Figura 5.17. Classificazione di idoneità per la specie Marble Trout, stadio vitale giovane, per il fiume Dora Baltea a Quincinetto. I valori di portata in alveo sono 6.5 m³/s, 20 m³/s e 50 m³/s. (Elaborazione ottenuta mediante SimStream).

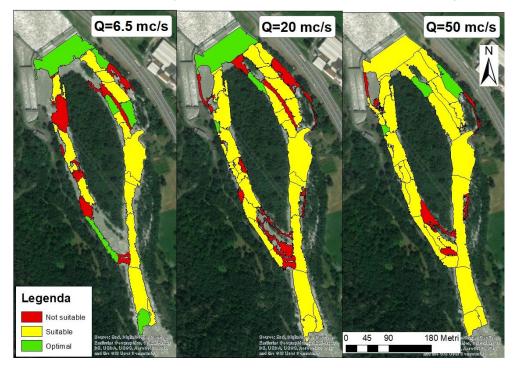


Figura 5.18. Classificazione di idoneità per la specie Marble Trout, stadio vitale adulto, per il fiume Dora Baltea a Quincinetto. I valori di portata in alveo sono 6.5 m³/s, 20 m³/s e 50 m³/s. (Elaborazione ottenuta mediante SimStream).

L'andamento che si osserva per valori di portata elevati, rispecchia ciò che avviene naturalmente nei fiumi; infatti, la presenza di periodi di piena ordinaria, con determinate frequenze di accadimento e durate, è indispensabile per i processi ecologici e morfologici delle specie stesse. In tali condizioni di deflusso, l'idoneità di una specie è spesso collegata alla presenza di zone di rifugio in alveo, come grossi massi (boulder), che riducono gli stress fisici per la fauna.

I valori dell'indice IH ottenuti per ogni scenario di rilascio a valle dell'opera di presa di Quincinetto, sono riportati nella *Tabella 5.3*, insieme ai valori degli altri indici e parametri indispensabili al calcolo dell'IH (vedasi *Paragrafo 2.3.3*).

Scenario 1	IH = 0.3				
Q <sub>97</sub> [m <sup>3</sup> /s]	21.46				
Parametri	Bullhead - adulto	Marble Trout - adulto	Marble Trout - giovane	Vairone - adulto	Vairone - giovane
A <sub>Hd,r</sub> [%]	11.29	25.54	8.78	8.92	10.14
A <sub>Hd</sub> [%]	9.97	14.51	10.51	7.21	10.05
ISH	0.88	0.57	0.8	0.81	0.99
A <sub>Q97</sub> [%]	13.66	25.09	11.89	9.86	13.59
SDA [-]	0.47	3.14	0.21	0.42	0.44
ITH	0.84	0.3	0.92	0.85	0.85

Scenario 2	IH = 0.3				
Q <sub>97</sub> [m <sup>3</sup> /s]	21.46				
Parametri	Bullhead - adulto		Marble Trout - adulto	Trout - Trout -	Trout - Trout - Vairone - adulto
Hd,r [%]	11.29		25.54	<b>9</b>	9
нd [%]	13.27	18	.67	.67 14.25	
SH	0.82	0.7	3	3 0.38	3 0.38 0.93
A <sub>Q97</sub> [%]	13.66	25.09	)	9 11.89	9 11.89 9.86
SDA [-]	0.47	3.14		0.9	0.9 0.42
ITH	0.84	0.3		0.71	0.71 0.85

Scenario 3	IH = 0.48				
Q <sub>97</sub> [m <sup>3</sup> /s]	21.46				
Parametri	Bullhead - adulto	Marble Trout - adulto	Marble Trout - giovane	Vairone - adulto	Vairone giovane
A <sub>Hd,r</sub> [%]	11.29	25.54	8.78	8.92	10.14
A <sub>Hd</sub> [%]	14.26	25.06	13.37	10.55	13.94
ISH	0.74	0.98	0.48	0.82	0.63
A <sub>Q97</sub> [%]	13.66	25.09	11.89	9.86	13.59
SDA [-]	0.59	1.91	0.57	0.59	0.59
ITH	0.8	0.48	0.8	0.8	0.8

Scenario 4	IH = 0.54				
Q <sub>97</sub> [m <sup>3</sup> /s]	21.46				
Parametri	Bullhead - adulto	Tı	arble out - dulto	rout - Trout -	rout - Vairone -
A <sub>Hd,r</sub> [%]	11.29	25.	54	54 8.78	54 8.78 8.92
A <sub>Hd</sub> [%]	12.63	25.32	1	1 10.65	1 10.65 9.52
ISH	0.88	0.99		0.79	0.79 0.93
A <sub>Q97</sub> [%]	13.66	25.09		11.89	11.89 9.86
SDA [-]	0.32	1.64		0.35	0.35 0.33
ITH	0.88	0.54		0.88	0.88 0.88

Tabella 5.3. Valori dei parametri e indici usati per la stima dell'IH nei quattro scenari di rilascio analizzati per il fiume Dora Baltea nel tratto a valle della presa di Quincinetto. (Software SimStream).

Dall'analisi dei risultati ottenuti, si evince che il DMV rilasciato finora a valle della presa (Scenario 1 e 2) risulta scadente in termini di integrità dell'habitat; tale integrità migliora negli altri due scenari, raggiugendo uno stato sufficiente.

Dalla *Tabella 5.3* è possibile notare come il valore basso dell'indice IH sia principalmente collegato alla coesistenza dello stadio vitale adulto e di quello giovane della specie Marble Trout; infatti, come si può vedere dai modelli biologici di presenza e abbondanza (vedasi *Appendice 1*), i due stadi vitali mostrano preferenze molto diverse in termini di profondità dell'acqua, velocità della corrente e tipologia di substrato. Generalmente, gli esemplari adulti preferiscono profondità

tra 90 e 105 cm e velocità della corrente nel range 30-45 cm/s; invece, gli individui giovani prediligono profondità e velocità più ridotte, rispettivamente 45-60 cm e 15-30 cm/s. Pertanto, per valori bassi del DMV l'indice ITH tende a ridursi notevolmente per lo stadio adulto della Marble Trout, in quanto aumenta l'alterazione temporale di habitat (*SDA*). Aumentando il DMV, invece, si riduce la disponibilità spaziale dell'habitat (*ISH*) per lo stadio giovanile della Marble Trout, in quanto la portata in alveo cresce troppo rispetto allo scenario di riferimento.

Sarebbe opportuno realizzare altre simulazioni, ad esempio a valori di portata minori di 6.5 m<sup>3</sup>/s o superiori a 50 m<sup>3</sup>/s, per rendere le relazioni Habitat/Portata più complete ed estendere il calcolo dell'IH a un range di portata maggiore.

Analizzando i dati attuali, la migliore strategia per garantire a entrambe le specie uno stato di integrità dell'habitat almeno sufficiente è quella di mantenere il più possibile l'andamento naturale della portata in alveo anche a valle della presa. Gli scenari 3 e 4 definiscono un deflusso ecologico che tiene conto della portata naturale in alveo, attraverso la definizione di un rilascio modulato su base mensile come valore percentuale del flusso misurato a monte.

Nel caso specifico, l'adozione dello scenario 3 comporterebbe una riduzione media del 20% della portata attualmente turbinata e un IH pari a 0.48; mentre lo scenario 4, corrispondente a un IH di 0.54, richiederebbe una riduzione media del 24% della portata turbinata.

# Conclusioni

Il presente lavoro di tesi, svolto nell'ambito della collaborazione tra Politecnico di Torino e Compagnia Valdostana delle Acque (*CVA*), si pone come obiettivo la modellazione e valutazione dell'habitat disponibile per la fauna a valle delle opere di derivazione della *CVA*. Per perseguire tale obiettivo è stata utilizzata la metodologia MesoHABSIM, che adopera una modellazione dell'habitat su mesoscala e assume come target ecologico la fauna ittica locale.

Nel presente lavoro di tesi, è stato eseguito un processo di elaborazione e standardizzazione dei dati idro-morfologici relativi ai rilievi in campo eseguiti negli anni 2008-2020, allo scopo di verificare la classificazione delle Unità Idro-morfologiche, la coerenza interna dei dati di profondità, velocità e substrato misurati in campo e la variazione della disponibilità di habitat al variare della portata. In particolare, per l'ottenimento delle relazioni che legano l'habitat disponibile e la portata in alveo, è stato utilizzato il software SimStream, attualmente integrato nella piattaforma QGIS.

Tale procedura è stata effettuata per i tratti idro-morfologicamente omogenei situati a valle di opere di presa nei torrenti Artanavaz, Ayasse, Buthier, Buthier Ollomont, Crest, Evancon (a Brusson e a Isollaz), Dora di Rhemes, Graines e nel fiume Dora Baltea (siti di Aosta, La Salle e Quincinetto).

Nel presente elaborato viene descritto in dettaglio il caso studio della Dora Baltea a Quincinetto. In questo tratto del fiume sono state analizzate tre diverse condizioni di deflusso: 6.5 m³/s, per cui è stato realizzato un rilievo il 21 ottobre 2020, 20 m³/s e 50 m³/s. Per ottenere i valori di profondità e velocità relativi alle condizioni di deflusso di 20 m³/s e 50 m³/s, si è reso necessario l'utilizzo di un modello idraulico bidimensionale. Tale modello è stato calibrato utilizzando un rilievo batimetrico e fotogrammetrico realizzato il 14 dicembre 2020 dal gruppo di eco-idraulica del DIATI. Dalla calibrazione del modello batimetrico è stato possibile ricavare il DTM del tratto fluviale di interesse e simulare le diverse condizioni di deflusso tramite il software HEC-RAS.

Per ognuna delle tre simulazioni sono stati estratti i dati idro-morfologici necessari al calcolo delle relazioni Habitat/Portata.

Per il tratto analizzato, le relazioni ottenute mostrano come l'andamento dell'habitat disponibile in relazione alla portata defluente cambi a secondo della specie target considerata (*Figura 5.17*). Per le specie Adult Marble Trout a parità di variazione di portata, l'habitat disponibile tende ad aumentare repentinamente per bassi valori di deflusso e ad aumentare sempre più lentamente man mano che ci si sposta verso la parte destra del grafico. Per le altre specie, invece, la relazione non ha andamento monotono e si osserva un massimo dell'habitat disponibile intorno a un valore di portata di 9 m³/s, mentre all'aumentare o al diminuire della portata questo tende a ridursi. Ciò indica come condizioni di deflusso più vicine al valor medio della portata naturale determinino un aumento della velocità della corrente e della profondità dell'acqua con una riduzione di habitat disponibile per le specie di dimensioni più piccole e per gli stadi giovanili.

Al fine di determinare il valore dell'Indice di Integrità dell'Habitat, per il tratto di Dora Baltea a Quincinetto sono state inserite su SimStream anche le serie storiche di portata. La serie di riferimento, di lunghezza 13 anni, è stata stimata tramite un modello regressivo lineare a partire dai valori di portata misurati dall'idrometro di Tavagnasco. Gli scenari di utilizzo della risorsa idrica utilizzati nel presente lavoro di tesi sono stati quattro (*Tabella 5.2*).

I primi due fanno riferimento al DMV rilasciato finora a valle della presa e descrivono uno stato di integrità dell'habitat scadente; gli scenari 3 e 4, invece, consentono il raggiungimento di uno stato di integrità dell'habitat sufficiente.

Una modalità di gestione della risorsa idrica tale da consentire il parziale ripristino dell'integrità dell'habitat a valle della presa di Quincinetto (scenari 3 e 4) può essere definita utilizzando un rilascio modulato su base mensile, calcolato come valore percentuale del valore di deflusso in arrivo all'opera di presa. La scelta di seguire l'andamento delle portate naturali nell'implementazione dei Deflussi Ecologici in Italia, ai sensi del Decreto n. 30/STA del 2017, presenta benefici ambientali notevolmente maggiori rispetto al rilascio di un Deflusso Minimo Vitale costante tutto l'anno. Tale schema di rilascio modulato tuttavia implicherebbe una maggiorazione dei valori di portata da rilasciare a valle della presa e quindi una riduzione media della portata turbinata dall'impianto tra il 20% (scenario 3) e il 24% (scenario 4).

# Bibliografia

- Bovee, K. D. (1982): A guide to stream habitat analysis using the IFIM. US Fish and Wildlife Service, Forth Collins, Colorado. Instream Flow In. Pap.12.
- Bovee, K. D., Lamb, B., Bartholow, J., Stalnaker, C., Taylor, J., Henriksen, J. (1998). *Stream Habitat Analysis Using the IFIM*. Information and Technical Report (SGS/BRD-19980004), p.131. US Geological Survey, Biological Resources Division, Fort Collins.
- Comiti F., Mao L. (2012). Recent advances in the dynamics of steep channels. In: Church M., Biron P.M., Roy A.G. (eds.), Gravel-bed rivers:processes, tools, environments. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd., pp. 353-377.
- Directive 2007/60/EC of the European Parlament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- Directive, Habitats. (1992). Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and wild fauna and flora. Brussels, Belgium.
- European Commission (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parlament and of the Council, 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Community L327:1-72.
- European Commission (2015): Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy (CIS) Guidance Document n°31. Luxemburg: European Union, 2015. 106 pp.
- G.W. Brunner. "HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual" (2016).
- IUCN, S. S. C. (2001). IUCN Red List categories and criteria: version 3.1. Prepared by the IUCN Species Survival Commission.
- Parasiewicz P., Ryan K., Vezza P., Comoglio C., Ballestero T., Rogers J.N. (2012b). Use of quantitative habitat models for establishing performance metrics in river restoration planning. Ecohydrology 6(4): 668-678.

- Parasiewicz, P. & Dunbar, M. J. (2001). Physical habitat modelling for fish a developing approach, Archiv für Hydrobiologie Supplement, 135(2:4).
- Parasiewicz, P. (2001a): MesoHABSIM: A concept for application of instream flow models in river restoration planning. Fisheries, 26:9, 6-13.
- Parasiewicz, P. (2007a): The MesoHABSIM model revisited. River Research and Applications, 23(8):893-903.
- Parasiewicz, P. (2007b): Using MesoHABSIM to develop reference habitat templates and ecological management scenarios. River research and applications.
- Parasiewicz, P., Ryan, K., Vezza, P., Comoglio, C., Ballestero, T., Rogers, J. N. (2012): Use of quantitative habitat models for establishing performance metrics in river restoration planning. Ecohydrology 6 (4):668-678.
- Parasiewicz. P., Rogers, J. N., Vezza, P., Gortázar, J., Seager, T., Pegg, M., Wiśniewolski, W., Comoglio, C. (2013): Applications of the MesoHABSIM Simulation Model. In: Ecohydraulics: an integrated approach. John Wiley & Sons, Ltd, 109-124.
- Poff, L. N., Zimmerman, J. K. H. (2010): Ecological response to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. Freshwater Biology (2010) 55: 194-205.
- Rinaldi M., Surian N.C., Comiti F., Bussettini M. (2016b). IDRAIM Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua Versione aggiornata 2016. Roma, Italy: Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA). Manuali e Linee Guida 131/2016, 400 pp.
- Rinaldi, M., Belletti, B., Comiti, F., Nardi, L., Mao, L., Bussettini, M. (2016): Sistema di rilevamento e classificazione delle Unità Morfologiche dei corsi d'acqua (SUM). Versione aggiornata 2016. ISPRA Manuali e Linee Guida 132/2016. Roma, Italy.
- Vezza, P. (2010): Regional Meso-scale Habitat Models for Environmental Flows Assessment. Ph. D. Dissertation in Hydraulic Engineering.

- Vezza, P., Comoglio, C., Parasiewicz, P., Suska, K., Petela, J., Calles, O. (2016): Habitat suitability model as tools for implementing the "Ecohydraulic trinity".
- Vezza, P., Goltara, A., Spairani, M., Zolezzi, G., Siviglia, A., Carolli, M., Bruno, M. C., Boz, B., Stellin, D., Comoglio, C., Parasiewicz, P. (2015): Habitat Indices for Rivers: Quantifying the Impact of Hydro-Morphological Alterations on the Fish Community. Engineering Geology for Society and Territory Volume 3, G. Lollino et al. (eds), 357-360, DOI: 10.1007/978-3-319-09054-2\_75.
- Vezza, P., Parasiewicz, P., Calles, O., Spairani, M., Comoglio, C. (2014a). Modelling habitat requirements of bullhead (Cottus gobio) in alpine streams. Aquatic Sciences 76(1):115.
- Vezza, P., Parasiewicz, P., Rosso, M., Comoglio, C. (2011): Defining minumum environmental flows at regional scale: application of Mesoscale Habitat Models and catchments classification. River research and applications.
- Vezza, P., Parasiewicz, P., Spairani, M., Comoglio, C. (2012a): Meso-scale habitat modelling in Alpine high gradient streams. In: Mader H, Kraml J (eds) Proceeding of the 9th Ecohydraulich Symposium ISE 2012. Vienna, Austria.
- Vezza, P., Parasiewicz, P., Spairani, M., Comoglio, C. (2014): Habitat modeling in high-gradient streams: the mesoscale approach and application. Ecological Applications 24(4):844861.
- Vezza, P., Zanin, A., Parasiewicz, P. (2017): Manuale tecnico-operativo per la modellazione e la valutazione dell'integrità dell'habitat fluviale. ISPRA Manuali e Linee Guida 154/2017. Roma, Italy.
- Zanin, A., Vezza, P., Comoglio, C. (2016): Strumenti GIS per la descrizione, valutazione e modellazione dell'habitat fluviale. XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Bologna, Italy.
- Zerunian S., 2003 Piano d'azione generale per la conservazione dei Pesci d'acqua dolce italiani. Quad. Cons. Natura, 17, Min. Ambiente Ist. Naz. Fauna Selvatica.

## Indice dei simboli

ADP Acoustic Doppler Profiler

AGS Stress Day Alteration

 $A_{Hd}$  Quantità media di habitat disponibile in condizioni alterate

 $A_{Hd,r}$  Valor medio della serie storica di habitat in condizioni non alterate

 $A_{Q97}$  Habitat corrispondente al 97° percentile di portata

BT Bottom Track

CDS Curve di Durata Sottosoglia

CVA Compagnia Valdostana delle Acque

 $d_{c,AQ97}$  Distanza curva di durata sottosoglia in condizioni alterate  $d_{c,r,AO97}$  Distanza curva di durata sottosoglia in condizioni non alterate

 $D_f$  Profondità fittizia

 $d_{max,r}$  Durata massima continua tra tutti gli eventi sottosoglia

*DMV* Deflusso Minimo Vitale

 $D_r$  Profondità reale

DSM Digital Surface Model
DTM Digital Terrain Model
GCP Ground Control Point

GNSS Global Navigation Satellite System

 $H_d$  Habitat disponibile

 $H_i$  Habitat idoneo

HMU Hydro-morfological unit

 $H_o$  Habitat ottimale

IH Indice di Integrità dell'habitat

ISH Indice di disponibilità Spaziale dell'HabitatITH Indice di disponibilità Temporale dell'Habitat

IUCN Unione Mondiale per la Conservazione della Natura

L Lunghezza

 $n_{acqua}$  Coefficiente di rifrazione dell'acqua  $n_{aria}$  Coefficiente di rifrazione dell'aria

*PDP* Partial Dependence Plots

*Q* Portata in alveo

 $Q_{355}$  Portata media annua di durata 355 giorni

*R2* Coefficiente di determinazione

*RF* Random Forests

*RMSE* Root Mean Square Error

S Pendenza del fondo  $SD_v$  Deviazione standard

UCUT Uniform Continuous Under Threshold curves

UMI Unità idro-morfologica

v Velocità

VB Vertical Beam

W Larghezza

WFD Water Frame Directive

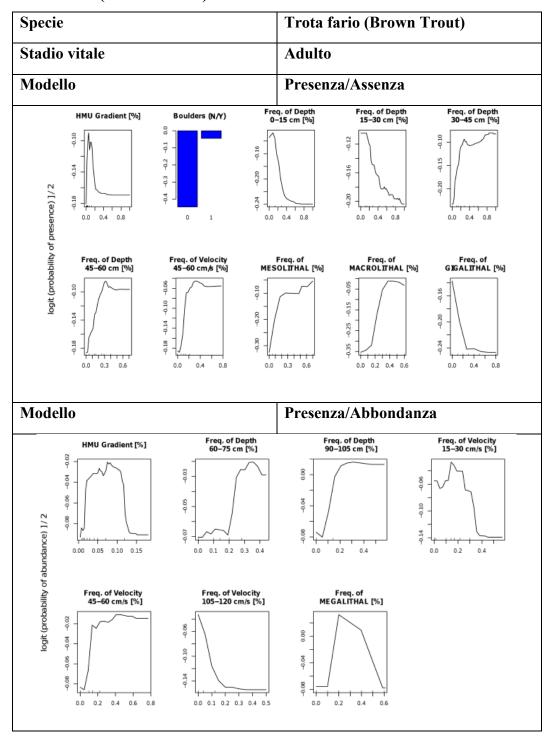
z Quota

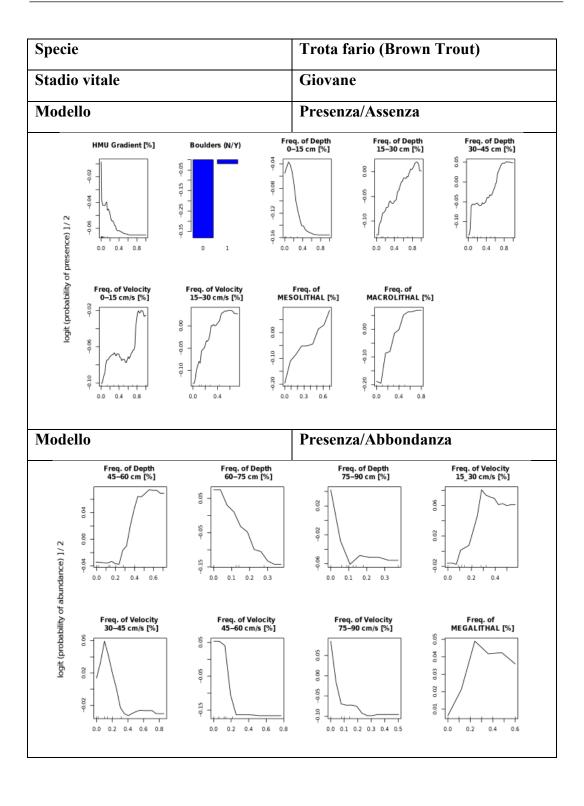
 $\Delta H$  Dislivello monte-valle

# Appendice 1 – Modelli di idoneità delle specie

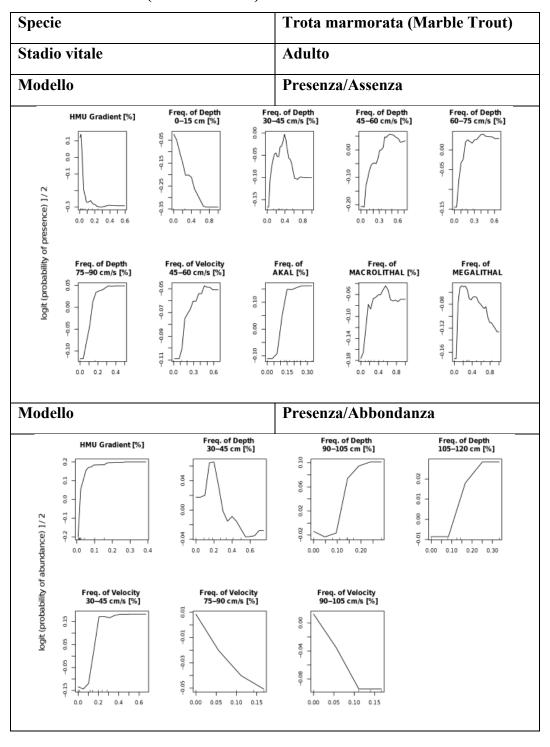
Si riportano di seguito i modelli di idoneità delle specie assunte come target nel presente elaborato.

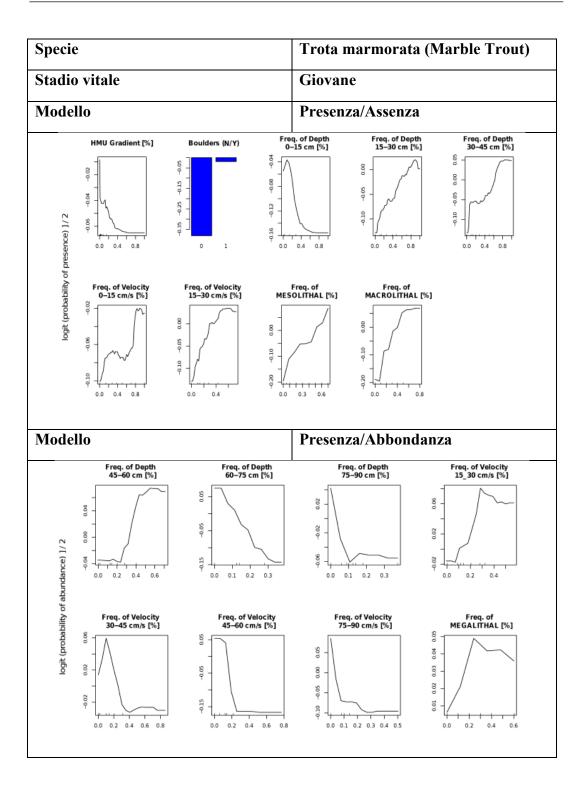
## Trota fario (Brown Trout)



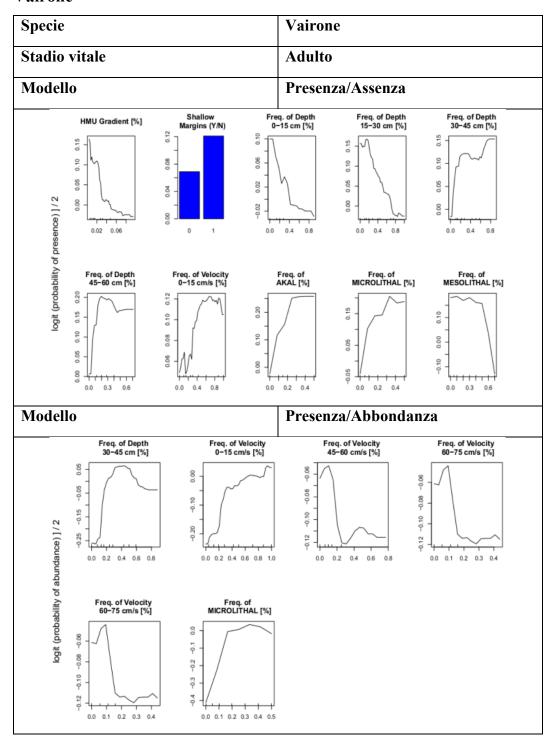


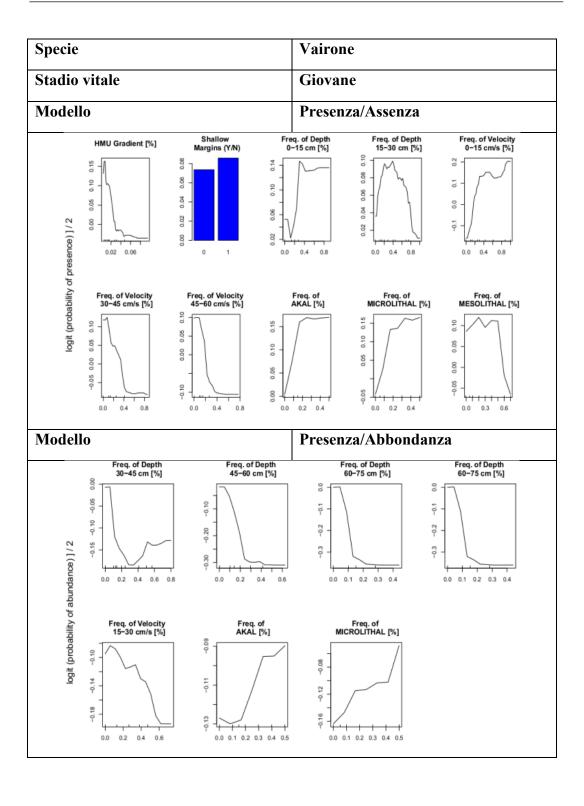
## Trota marmorata (Marble Trout)



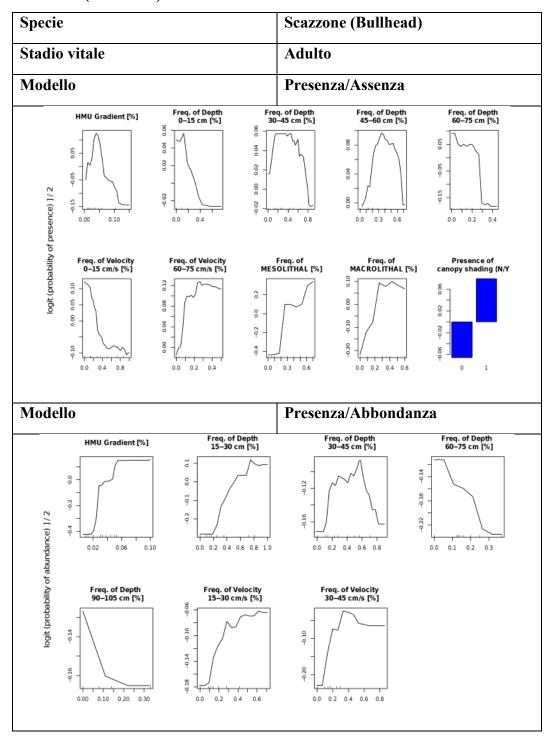


### Vairone





## Scazzone (Bullhead)



# Appendice 2 – Codici Matlab per l'elaborazione dei dati

La correzione dei file di testo contenenti la classificazione delle unità è stata realizzata attraverso un codice Matlab, di cui si riporta di seguito solo un frammento relativo alla correzione del rilievo alla portata di 40 l/s per il torrente Graines:

```
clc
clear all
filename='Graines tabella testo 0.04m3s-28-11-2011.xlsx'; %apro il file di
testo da modificare
[num,txt] = xlsread(filename);
HMU NUM = num(:,1);
HMU_TYPE = txt(2:end,2);
PNTNUM = num(:,3);
DEPTH = num(:,4);
VELOCITY = num(:,5);
SUBSTRATE = txt(2:end,6);
% Sostituisco le HMU TYPE
for i=1:length(HMU NUM)
    if HMU_NUM(i) == 25 && isequal(HMU_TYPE(i), {'STEP'})% seleziono l'UMI
        HMU TYPE(i) = {'CASCADE'}; % modifico le variabili testo, ottenendo
quelle corrette
        HMU_TYPE(i)=HMU_TYPE(i);
    end
end
% questo ciclo è ripetuto per tutte le unità da modificare
xlswrite(filename, HMU_NUM, 1, 'A2');
xlswrite(filename, HMU_TYPE, 1, 'B2');
xlswrite(filename, PNTNUM, 1, 'C2');
xlswrite(filename, DEPTH, 1, 'D2');
xlswrite(filename, VELOCITY, 1, 'E2');
xlswrite(filename, SUBSTRATE, 1, 'F2');
```

La verifica dei dati di profondità, velocità e substrato è stata realizzata attraverso l'analisi delle curve di frequenza cumulata relative ad ogni rilievo, create attraverso un apposito codice su Matlab. A titolo di esempio, si riporta di seguito il codice relativo al torrente Graines per i tre rilievi realizzati:

```
clear all
% Q=0.57 m3/s
[Num, TYPE, Pntinum, depth, velocity, substrate]=textread('D:\Tesi
Eri\tesi Erika\CVA_GIOVANNI_modificate -
Copia\input\Graine\graine_tabella_testo_0.57m3s-26-11-2010.txt','%f %s %f
%f %f %s', 'headerlines', 1); % apro il file
m=[Num, depth, velocity];
s=[substrate];
%Profondità
edges depth=[0:0.15:1.20 2]; % definisco le classi di profondità
n depth=histc(depth,edges depth);
N depth=n depth(9)+n depth(10);
n1 depth=[n depth(1) n depth(2) n depth(3) n depth(4) n depth(5)
n depth(6) n depth(7) n depth(8) N depth];
dim depth=length(m(:,2));
for j=1:length(n_depth)
    freq_rel_depth(j)=n_depth(j)./dim_depth; % calcolo della frequenza
relativa
for k=1:length(n1 depth)
    freq_ist_depth(k) = n1_depth(k)./dim_depth;
end
freq_cum_depth=cumsum(freq_rel_depth); % calcolo della frequenza cumulata
%Grafico senza classi
depth ord=sortrows(depth, 'ascend');
d depth=[1:length(depth ord)];
ind d depth=1:length(depth ord);
freq depth=ind d depth./dim depth;
%Velocità
edges_vel=[0:0.15:1.20 max(m(:,3))]; % definisco le classi di velocità
n vel=histc(velocity,edges vel);
N_{vel} = n_{vel}(9) + n_{vel}(10);
n1_vel=[n_vel(1) n_vel(2) n_vel(3) n_vel(4) n_vel(5) n_vel(6) n_vel(7)
n_vel(8) N_vel];
\dim \text{vel=length}(m(:,3));
for j=1:length(n vel)
    freq_rel_vel(j)=n_vel(j)./dim_vel; % calcolo della frequenza relativa
end
for k=1:length(n1 vel)
    freq ist vel(k)=n1 vel(k)./dim vel;
freq cum vel=cumsum(freq rel vel); % calcolo della frequenza cumulata
%Grafico senza classi
vel ord=sortrows(velocity, 'ascend');
d vel=[1:length(vel ord)];
ind d vel=1:length(vel ord);
freq vel=ind d vel./dim vel;
```

```
%Substrato
s = string(s);
s = lower(s);
% definisco le classi di substrato
str=["gigalithal", "megalithal", "macrolithal", "mesolithal", "microlithal", "
akal", "psammal", "pelal", "detritus", "xylal", "sapropel", "phytal"];
str1=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13];
newChr = strrep(s,'gigalithal','1');
newChr1 = strrep(newChr, 'megalithal', '2');
newChr2 = strrep(newChr1, 'macrolithal', '3');
newChr3 = strrep(newChr2, 'mesolithal', '4');
newChr4 = strrep(newChr3, 'microlithal', '5');
newChr5 = strrep(newChr4, 'akal', '6');
newChr6 = strrep(newChr5, 'psammal', '7');
newChr7 = strrep(newChr6, 'pelal', '8');
newChr8 = strrep(newChr7, 'detritus', '9');
newChr9 = strrep(newChr8,'xylal','10');
newChr10 = strrep(newChr9, 'sapropel', '11');
newChr11 = strrep(newChr10,'phytal','12');
X = str2double(newChr11);
% [words,idx,pos] = unique(newChr11)
% [GC,GR] = groupcounts(newChr11);
% edges=[1.01 2.01 3.01 4.01 5.01 6.01 7.01 8.01 9.01 10.01 11.01 12.01];
numOccurrences = histcounts(X,str1);
numWords = length(s);
PercentOfText = numOccurrences / numWords; % frequenza relativa
CumulativePercentOfText = cumsum(PercentOfText); % frequenza cumulata
% Q=0.04 m3/s
[Num1, TYPE1, Pntinum1, depth1, velocity1, substrate1]=textread('D:\Tesi
Eri\tesi Erika\CVA GIOVANNI modificate -
Copia\input\Graine\graine tabella testo 0.04m3s-28-11-2011.txt','%f %s %f
%f %f %s','headerlines', 1);
m1=[Num1, depth1, velocity1];
s1=[substrate1];
%Profondità
edges depth1=[0:0.15:1.20 2];
n depth1=histc(depth1,edges depth1);
N depth1=n depth1(9)+n depth1(10);
n1 depth1=[n depth1(1) n depth1(2) n depth1(3) n depth1(4) n depth1(5)
n_depth1(6) n_depth1(7) n_depth1(8) N_depth1];
dim depth1=length(m1(:,2));
for j=1:length(n_depth1)
    freq_rel_depth1(j)=n_depth1(j)./dim_depth1;
for k=1:length(n1 depth1)
     freq ist depth1(k)=n1 depth1(k)./dim depth1;
end
freq cum depth1=cumsum(freq rel depth1);
%Grafico senza classi
depth ord1=sortrows(depth1, 'ascend');
d1 depth=[1:length(depth ord1)];
ind d1 depth=1:length(depth ord1);
freq_depth1=ind_d1_depth./dim_depth1;
%Velocità
```

```
edges vel1=[0:0.15:1.20 max(m1(:,3))];
n_vel1=histc(velocity1,edges_vel1);
N_vel1=n_vel1(9)+n_vel1(10);
n1_vel1=[n_vel1(1) n_vel1(2) n_vel1(3) n_vel1(4) n_vel1(5) n_vel1(6)
n_vel1(7) n_vel1(8) N_vel1];
dim vel1=length(m1(:,3));
for j=1:length(n vel1)
    freq rel vel1(j)=n vel1(j)./dim vel1;
end
for k=1:length(n1 vel1)
    freq ist vel1(k)=n1 vel1(k)./dim vel1;
freq_cum_vel1=cumsum(freq_rel_vel1);
%Grafico senza classi
vel ord1=sortrows(velocity1, 'ascend');
d1 vel=[1:length(vel ord1)];
ind d1 vel=1:length(vel ord1);
freq_vel1=ind_d1_vel./dim_vel1;
%Substrato
s1 = string(s1);
s1 = lower(s1);
newChr 1 = strrep(s1, 'gigalithal', '1');
newChr1_1 = strrep(newChr_1, 'megalithal', '2');
newChr2_1 = strrep(newChr1_1, 'macrolithal', '3');
newChr3 1 = strrep(newChr2 1, 'mesolithal', '4');
newChr4 1 = strrep(newChr3 1, 'microlithal', '5');
newChr5 1 = strrep(newChr4 1, 'akal', '6');
newChr6 1 = strrep(newChr5 1, 'psammal', '7');
newChr7 1 = strrep(newChr6 1, 'pelal', '8');
newChr8_1 = strrep(newChr7_1,'detritus','9');
newChr9 1 = strrep(newChr8 1,'xylal','10');
newChr10_1 = strrep(newChr9_1, 'sapropel', '11');
newChr11 1 = strrep(newChr10 1, 'phytal', '12');
X1 = str2double(newChr11 1);
% [words,idx,pos] = unique(newChr11)
% [GC,GR] = groupcounts(newChr11);
% edges=[1.01 2.01 3.01 4.01 5.01 6.01 7.01 8.01 9.01 10.01 11.01 12.01];
numOccurrences1 = histcounts(X1, str1);
numWords1 = length(s1);
PercentOfText1 = numOccurrences1 / numWords1;
CumulativePercentOfText1 = cumsum(PercentOfText1); %frequenza cumulata
% Q=1.053 m3/s
[Num2, TYPE2, Pntinum2, depth2, velocity2, substrate2] = textread('D:\Tesi
Eri\tesi Erika\CVA GIOVANNI modificate
Copia\input\Graine\graine tabella testo 1.053m3s-25-05-2012.txt','%f %s
%f %f %f %s', 'headerlines', 1);
m2=[Num2, depth2, velocity2];
s2=[substrate2];
%Profondità
edges depth2=[0:0.15:1.20 2];
n depth2=histc(depth2,edges depth2);
N depth2=n depth2(9)+n depth2(10);
n1_depth2=[n_depth2(1) n_depth2(2) n_depth2(3) n_depth2(4) n_depth2(5)
n depth2(6) n depth2(7) n depth2(8) N depth2];
dim depth2=length(m2(:,2));
```

```
for j=1:length(n depth2)
    freq_rel_depth2(j)=n_depth2(j)./dim_depth2;
end
for k=1:length(n1 depth2)
     freq_ist_depth2(k) = n1_depth2(k)./dim_depth2;
freq cum depth2=cumsum(freq_rel_depth2);
%Grafico senza classi
depth ord2=sortrows(depth2, 'ascend');
d2 depth=[1:length(depth ord2)];
ind d2 depth=1:length(depth ord2);
freq depth2=ind d2 depth./dim depth2;
%Velocità
edges vel2=[0:0.15:1.20 max(m2(:,3))];
n_vel2=histc(velocity2,edges_vel2);
N vel2=n vel2(9)+n vel2(10);
n1_vel2=[n_vel2(1) n_vel2(2) n_vel2(3) n_vel2(4) n_vel2(5) n_vel2(6)
n_vel2(7) n_vel2(8) N_vel2];
dim vel2=length(m2(:,3));
for j=1:length(n vel2)
    freq rel vel2(j)=n vel2(j)./dim vel2;
end
for k=1:length(n1 vel2)
    freq_ist_vel2(k)=n1_vel2(k)./dim_vel2;
end
freq cum vel2=cumsum(freq rel vel2);
%Grafico senza classi
vel ord2=sortrows(velocity2, 'ascend');
d2 vel=[1:length(vel ord2)];
ind_d2_vel=1:length(vel_ord2);
freq vel2=ind d2 vel./dim vel2;
%Substrato
s2 = string(s2);
s2 = lower(s2);
newChr 2 = strrep(s2, 'gigalithal', '1');
newChr1 2 = strrep(newChr 2, 'megalithal', '2');
newChr2 2 = strrep(newChr1 2, 'macrolithal', '3');
newChr3 2 = strrep(newChr2 2, 'mesolithal', '4');
newChr4 2 = strrep(newChr3 2, 'microlithal', '5');
newChr5_2 = strrep(newChr4_2,'akal','6');
newChr6_2 = strrep(newChr5_2,'psammal','7');
newChr7_2 = strrep(newChr6_2, 'pelal', '8');
newChr8 2 = strrep(newChr7 2,'detritus','9');
newChr9_2 = strrep(newChr8_2,'xylal','10');
newChr10 2 = strrep(newChr9 2, 'sapropel', '11');
newChr11 2 = strrep(newChr10 2, 'phytal', '12');
X2 = str2double(newChr11 2);
% [words,idx,pos] = unique(newChr11)
% [GC,GR] = groupcounts(newChr11);
% edges=[1.01 2.01 3.01 4.01 5.01 6.01 7.01 8.01 9.01 10.01 11.01 12.01];
numOccurrences2 = histcounts(X2, str1);
numWords2 = length(s2);
PercentOfText2 = numOccurrences2 / numWords2;
CumulativePercentOfText2 = cumsum(PercentOfText2); %frequenza cumulata
```

```
newedges=[0:0.15:1.35];
figure(1)
stairs(newedges,freq cum depth1,'-s','Linewidth',4);
stairs(newedges,freq_cum_depth,'-s','Linewidth',4);
stairs (newedges, freq cum depth2, '-s', 'Linewidth', 4);
hold on
% title('Frequenza globale cumulata delle profondità');
xlabel('{\bf\fontsize{16} Classi di profondità}');
ylabel('{\bf\fontsize{16} Frequenza cumulata}');
legend('{\bf\fontsize{12}} Q=0.04 m^3/s}','{\bf\fontsize{12}} Q=0.57
m^3/s','{\bf\fontsize{12} Q=1.053 m^3/s}');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0','0.15','0.30','0.45','0.60','0.75','0.90','1.05','1.20',
'>1.20'});
hold off
figure(2)
plot(depth ord1, freq depth1, '-s', 'Linewidth', 4);
plot(depth_ord, freq_depth, '-s', 'Linewidth', 4);
hold on
plot(depth ord2, freq depth2, '-s', 'Linewidth', 4);
% title('Frequenza globale cumulata delle profondità');
xlabel('{\bf\fontsize{16} Profondità}');
ylabel('{\bf\fontsize{16} Frequenza cumulata}');
legend('{\bf\fontsize{12}} Q=0.04 m^3/s}','{\bf\fontsize{12}} Q=0.57
m^3/s','{\bf\fontsize{12} Q=1.053 m^3/s}');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0','0.15','0.30','0.45','0.60','0.75','0.90','1.05','1.20',
'>1.20'});
hold off
figure(3)
stairs (newedges, freq cum vell, '-s', 'Linewidth', 4);
hold on
stairs (newedges, freq cum vel, '-s', 'Linewidth', 4);
stairs (newedges, freq cum vel2, '-s', 'Linewidth', 4);
hold on
% title('Frequenza globale cumulata delle velocità');
xlabel('{\bf\fontsize{16} Classi di velocità}');
ylabel('{\bf\fontsize{16} Frequenza cumulata}');
legend('{\bf\fintsize{12}} Q=0.04 m^3/s \}','{\bf\fintsize{12}} Q=0.57
m^3/s','{\bf\fontsize{12} Q=1.053 m^3/s}');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0','0.15','0.30','0.45','0.60','0.75','0.90','1.05','1.20',
'>1.20'});
hold off
figure (4)
plot(vel ord1, freq vel1, '-s', 'Linewidth', 4);
hold on
plot(vel_ord, freq_vel, '-s', 'Linewidth', 4);
plot(vel ord2, freq vel2, '-s', 'Linewidth', 4);
```

```
% title('Frequenza globale cumulata delle velocità');
xlabel('{\bf\fontsize{16} Velocità}');
ylabel('{\bf\fontsize{16} Frequenza cumulata}');
legend('{\bf\fintsize{12}} Q=0.04 m^3/s)','{\bf\fintsize{12}} Q=0.57
m^3/s','{\bf\fontsize{12} Q=1.053 m^3/s}');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0','0.15','0.30','0.45','0.60','0.75','0.90','1.05','1.20',
'>1.20'});
hold off
figure(5)
gcombined=[PercentOfText1(:),PercentOfText1(:)];
%frequenza relativa
bar(gcombined, 'grouped');
set(gca,'xticklabel',str.');
legend('{\bf\fontsize{12}} Q=0.04 m^3/s}','{\bf\fontsize{12}} Q=0.57
m^3/s','{\bf\fontsize{12} Q=1.053 m^3/s}');
% title('{\bf\fontsize{12}} Frequenza relativa delle classi di
substrato');
xlabel('{\bf\fontsize{16} Classi di substrato}');
ylabel('{\bf\fontsize{16} Frequenza relativa}');
figure (6) % frequenza cumulata
qcombined1=[CumulativePercentOfText1(:),CumulativePercentOfText(:),Cumula
tivePercentOfText2(:)];
bar(gcombined1, 'grouped');
set(gca,'xticklabel',str.');
\label{legend('{\bf\fontsize{12}} Q=0.04 m^3/s}','{\bf\fontsize{12}} Q=0.57
m^3/s','{\bf\fontsize{12} Q=1.053 m^3/s}');
xlabel('{\bf\fontsize{16} Classi di substrato}');
ylabel('{\bf\fontsize{16} Frequenza relativa}');
% title('Frequenza globale cumulata delle classi di substrato');
newedges1=[0:0.15:1.20];
figure (7) %Istogrammi a Q=0.57
subplot(3,1,1);
bar(newedges1, freq ist depth);
title('Distribuzione di frequenza delle profondità');
xlabel('Classi di profondità');
ylabel('Frequenza');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0-15','15-30','30-45','45-60','60-75','75-90','90-
105','105-120','>120'});
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
subplot(3,1,2);
bar(newedges1,freq ist vel);
title('Distribuzione di frequenza delle velocità');
xlabel('Classi di velocità');
ylabel('Frequenza');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0-15','15-30','30-45','45-60','60-75','75-90','90-
105','105-120','>120'});
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
```

```
subplot(3,1,3);
bar(PercentOfText(:), 'grouped');
set(gca,'xticklabel',str.');
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
title('Distribuzione di frequenza delle classi di substrato');
xlabel('Classi di substrato');
ylabel('Frequenza');
figure (8) %Istogrammi a Q=0.04
subplot(3,1,1);
bar(newedges1,freq_ist_depth1);
title('Distribuzione di frequenza delle profondità');
xlabel('Classi di profondità');
ylabel('Frequenza');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0-15','15-30','30-45','45-60','60-75','75-90','90-
105','105-120','>120'});
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
subplot(3,1,2);
bar(newedges1,freq_ist_vel1);
title('Distribuzione di frequenza delle velocità');
xlabel('Classi di velocità');
ylabel('Frequenza');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0-15','15-30','30-45','45-60','60-75','75-90','90-
105','105-120','>120'});
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
subplot(3,1,3);
bar(PercentOfText1(:), 'grouped');
set(gca,'xticklabel',str.');
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
title('Distribuzione di frequenza delle classi di substrato');
xlabel('Classi di substrato');
ylabel('Frequenza');
figure (9) %Istogrammi a Q=1.053
subplot(3,1,1);
bar(newedges1,freq_ist_depth2);
title('Distribuzione di frequenza delle profondità');
xlabel('Classi di profondità');
ylabel('Frequenza');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0-15','15-30','30-45','45-60','60-75','75-90','90-
105','105-120','>120'});
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
subplot(3,1,2);
bar(newedges1, freq ist vel2);
```

```
title('Distribuzione di frequenza delle velocità');
xlabel('Classi di velocità');
ylabel('Frequenza');
xticks([0 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35]);
xticklabels({'0-15','15-30','30-45','45-60','60-75','75-90','90-
105','105-120','>120'});
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
subplot(3,1,3);
bar(PercentOfText2(:), 'grouped');
set(gca,'xticklabel',str.');
yticks([0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1]);
yticklabels({'0','0.1','0.2','0.3','0.4','0.5','0.6','0.7','0.8','0.9','1
'});
title('Distribuzione di frequenza delle classi di substrato');
xlabel('Classi di substrato');
ylabel('Frequenza');
```

# Appendice 3 – Risultato dell'elaborazione dei dati per i fiumi del caso studio

Vengono di seguito presentate le elaborazioni dei dati relativi agli altri casi studio analizzati nel lavoro di tesi. Per ciascun caso saranno presentate in forma individuale:

- Una mappa di inquadramento geografico della localizzazione del rilievo in Valle d'Aosta;
- Una mappa georiferita delle unità idromorfologiche individuate e correttamente classificate durante uno solo dei rilievi;
- Le curve di frequenza cumulata dei valori di profondità, velocità e tipologia di substrato;
- Una mappa georiferita di idoneità dei mesohabitat relativa allo stesso rilievo e a una sola delle specie ittiche scelte come riferimento per la modellazione dell'habitat fluviale (*Suitability Map*, in inglese);
- La relazione habitat/portata (habitat flow rating curve, in inglese).

Nella Tabella 1.1 sono elencati in ordine alfabetico i tratti fluviali oggetto dello studio; le relative elaborazioni saranno presentate a seguire nello stesso ordine.

ID RILIEVO	CORSO D'ACQUA	COMUNE	PROVINCIA	NUMERO DI RILIEVI ESEGUITI
1	Artanavaz	Gignod	AO	3
2	Ayasse	Pontboset	AO	3
3	Buthier	Valpelline	AO	3
4	Buthier Ollomont	Valpelline	AO	3
6	Crest	Pontboset	AO	3
7	Dora Baltea (Aosta)	Aosta-Charvensod-Gressan	AO	4
8	Dora Baltea (La Salle)	La Salle	AO	4
9	Dora Baltea (Quincinetto)	Quincinetto	TO	3
10	Dora di Rhemes	Rhemes-Saint-Georges	AO	3
11	Evancon	Brusson	AO	3
12	Evancon	Isollaz	AO	3
13	Graines	Brusson	AO	3

Tabella 1.1. Casi studio per l'applicazione della modellazione dell'habitat con metodologia MesoHABSIM. (Elaborazione propria).

Le mappe dei mosaici delle unità idromorfologiche raffigurano le UMI con una colorazione prefissata in funzione della tipologia con la quale è stata classificata l'unità stessa. Tale visualizzazione è presentata in *Tabella 1.2*.

Tipologia di UMI	Colorazione
AQUATIC_VEGETATION	
ARTIFICIAL_ELEMENT	
BACKWATER	
CASCADE	
DUNE	
FLOOD_LAKE	
GLIDE	
PLUNGE_POOL	
POOL	
POTHOLE	
RAPID	
RIFFLE	
ROCK_GLIDE	
SECONDARY_CHANNEL	
STEP	
WATERFALL	
WETLAND	

Tabella 1.2. Colorazione delle UMI in funzione della loro tipologia. (Elaborazione propria).

Le mappe di idoneità dell'habitat per le specie rappresentano la presenza, assenza e abbondanza della comunità target, relativamente ad ogni unità idromorfologica, tramite colorazione semaforica (*Figura 1.1*).

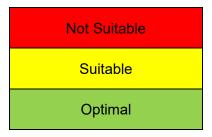
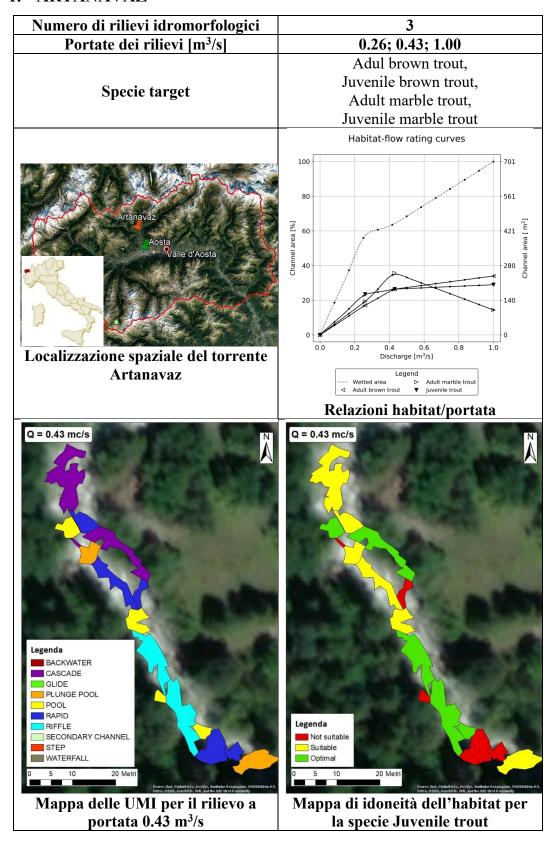
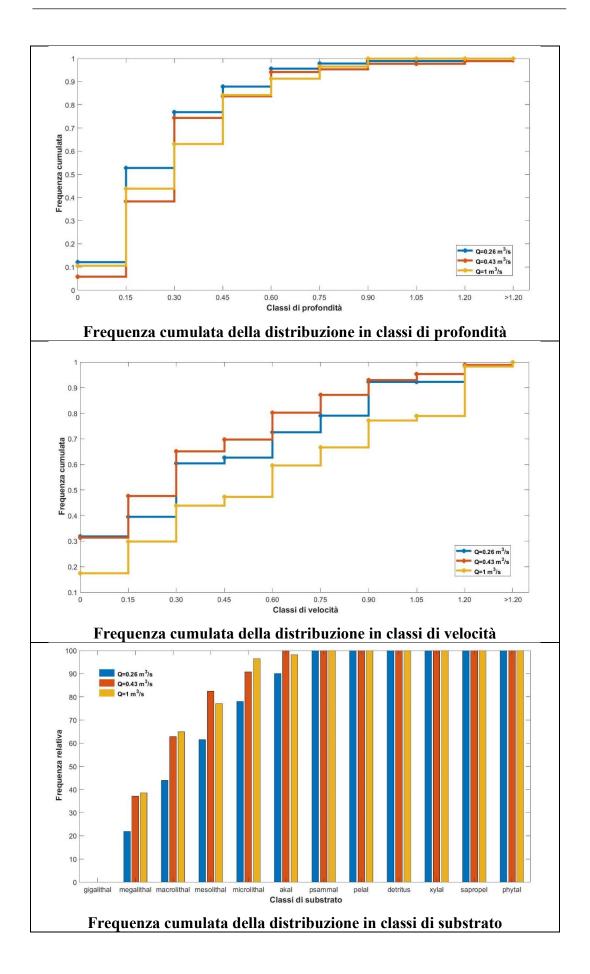


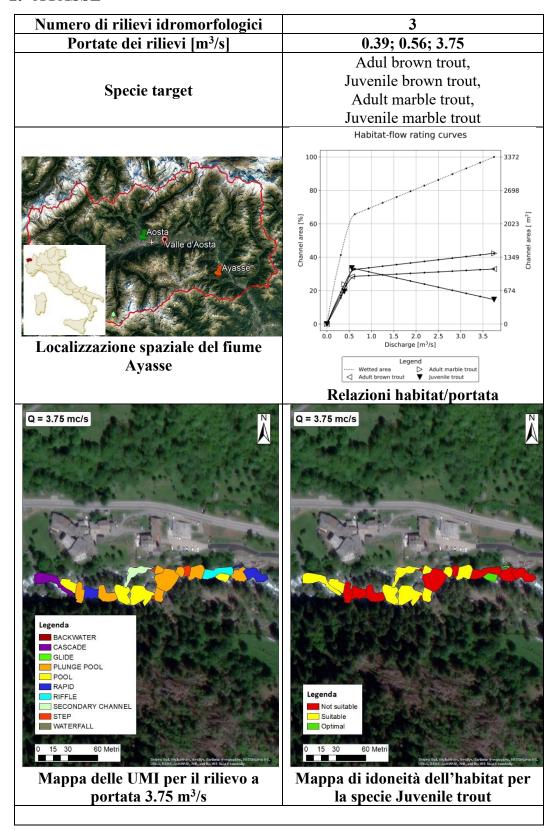
Figura 1.1. Colorazione attribuita alle unità idromorfologiche in funzione del grado di idoneità ottenuto, in relazione a una specifica specie ittica. (Elaborazione propria).

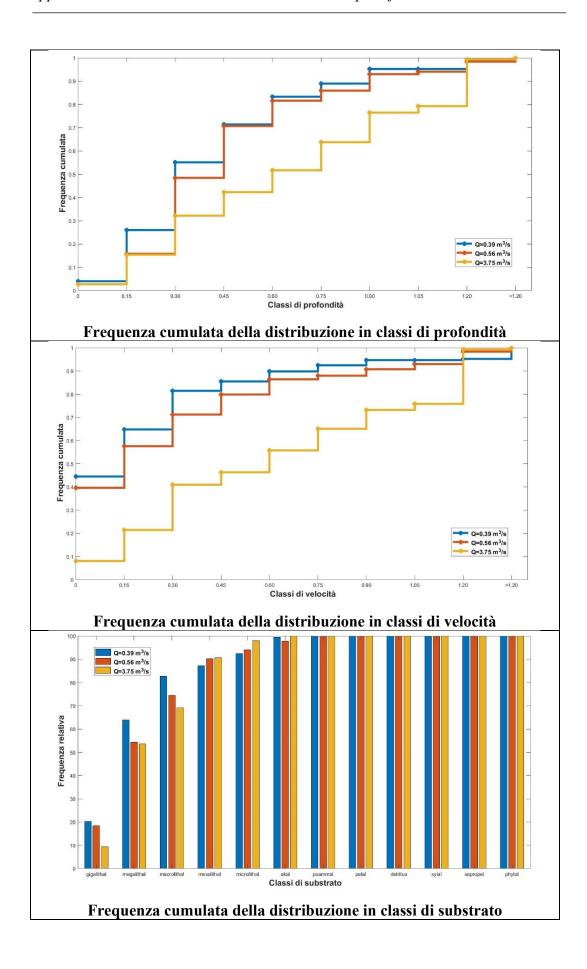
### 1. ARTANAVAZ



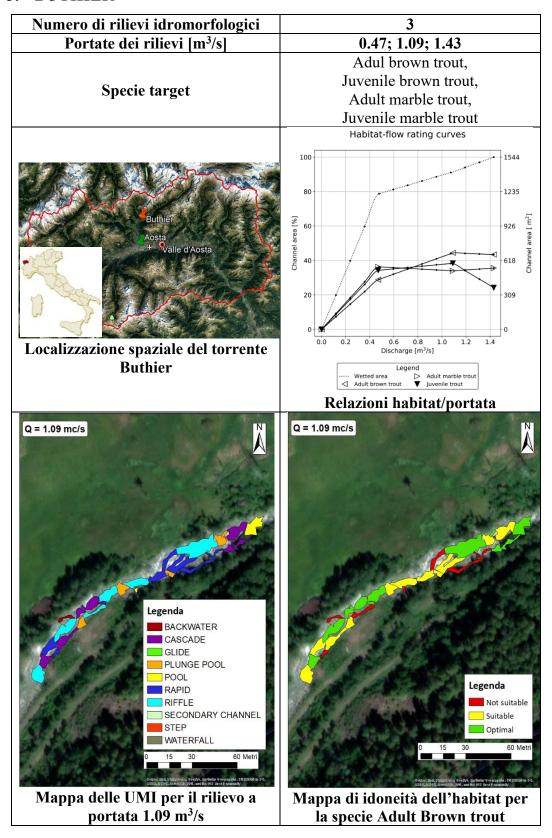


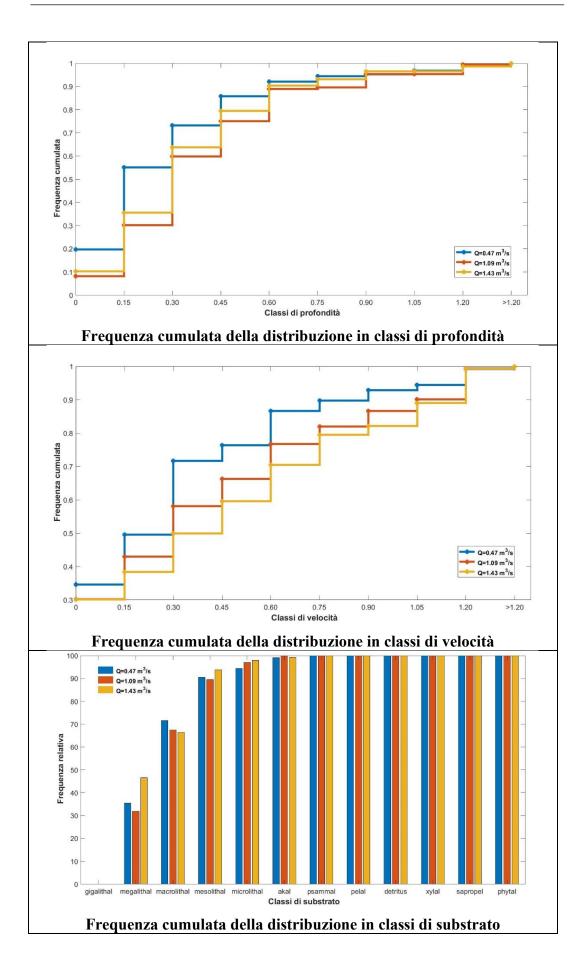
### 2. AYASSE



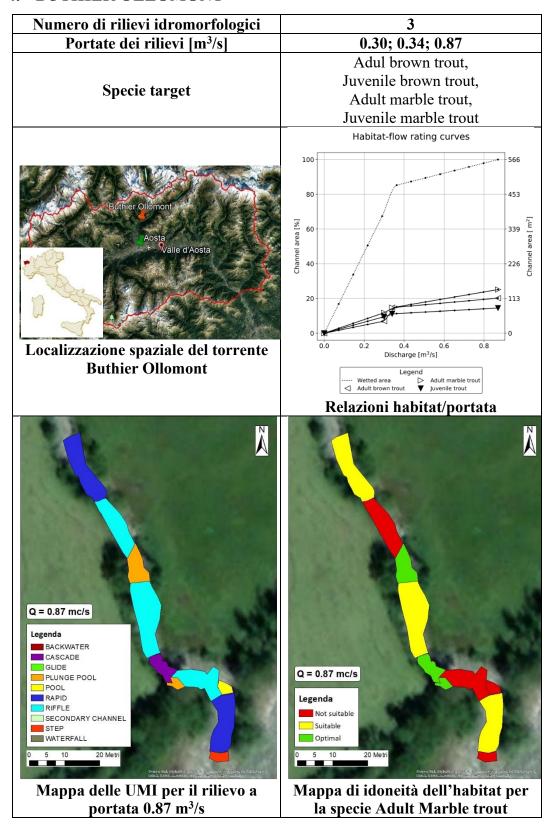


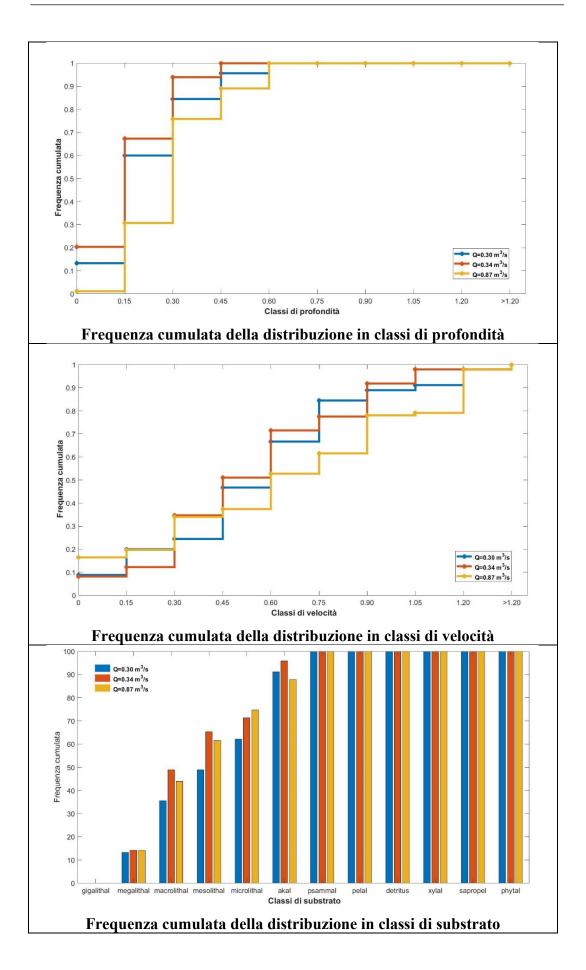
### 3. BUTHIER



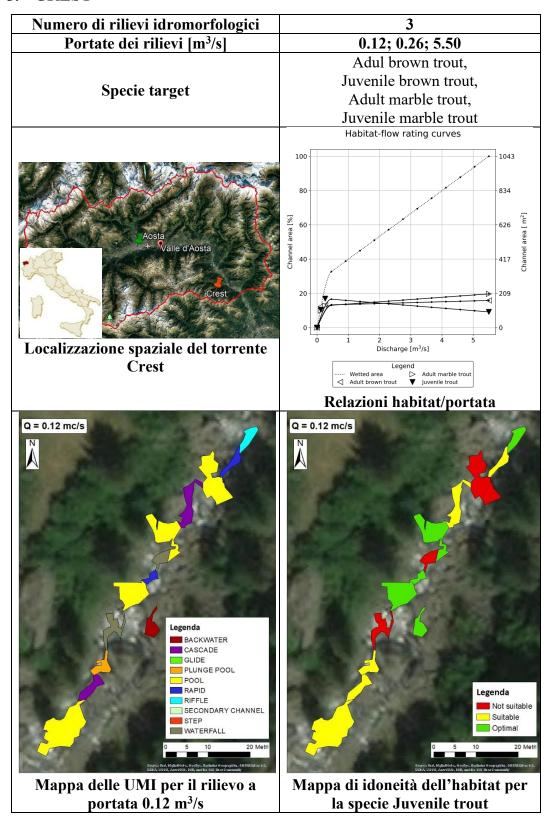


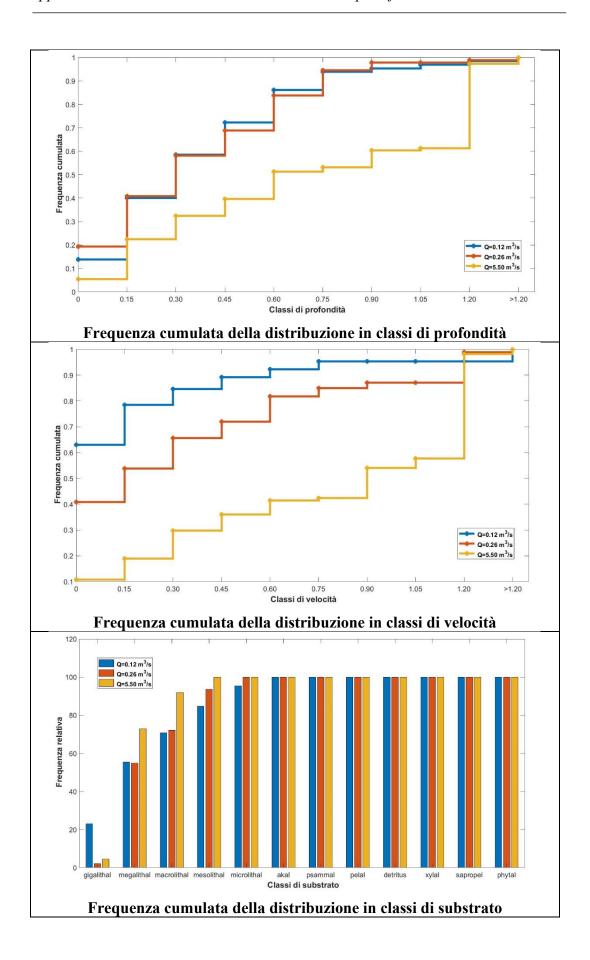
### 4. BUTHIER OLLOMONT





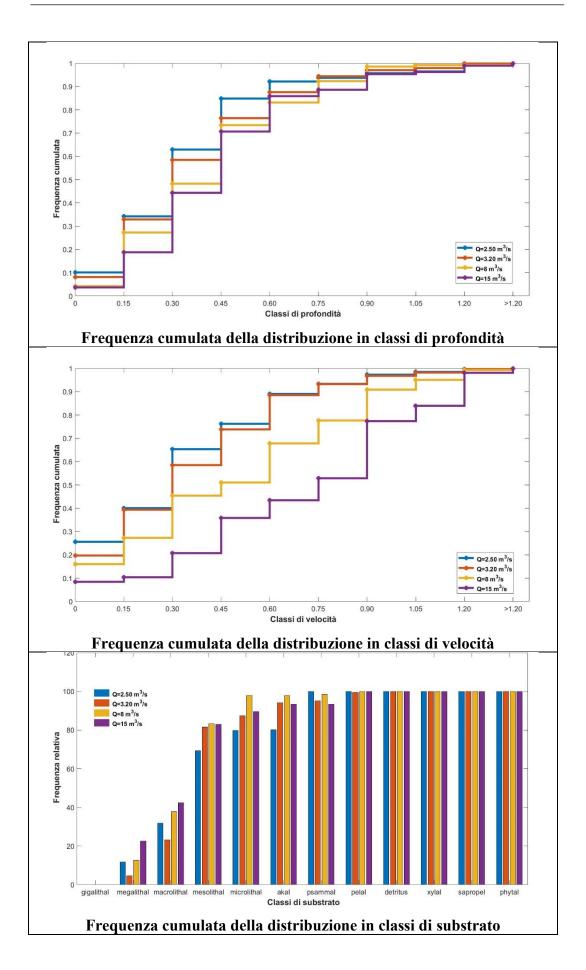
### 5. CREST





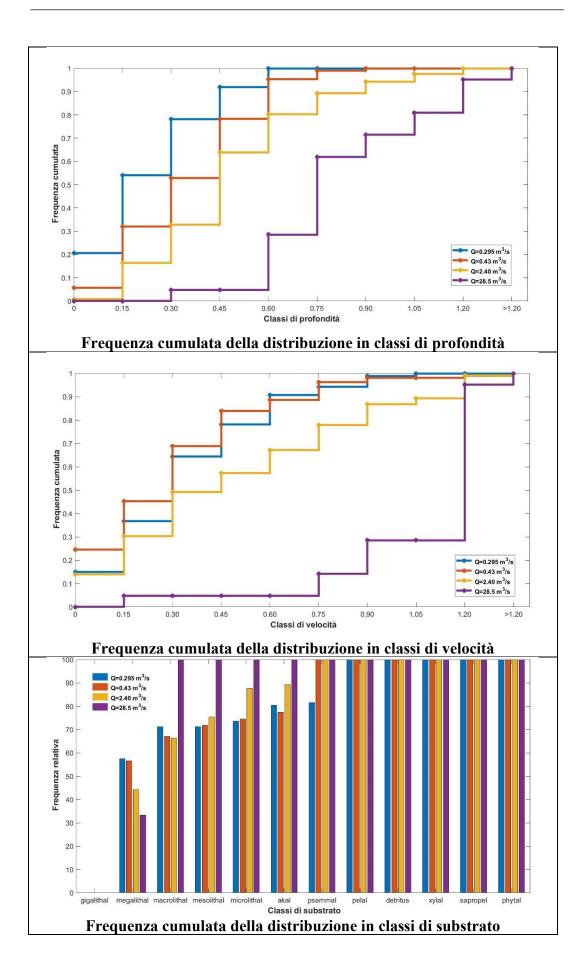
# 6. DORA BALTEA (Aosta)

Numero di rilievi idromorfologici	4	
Portate dei rilievi [m³/s]	2.50; 3.20; 8.00; 15.00	
Specie target	Adul brown trout, Juvenile brown trout, Adult vairone, Juvenile vairone, Bullhead	
	Habitat-flow rating curves	
Localizzazione spaziale del fiume Dora Baltea ad Aosta	93626  80  74901  56176  80  37451  0  18725  18725  18725  18725  18725  18725  18725  Adult briven trout A	
	Relazioni habitat/portata	
C = 3.2 mc/s  Legenda  BACKWATER CASCADE GOLDE PLUNGE POOL POOL PARID STEP WATERFALL STEP WATERF	Q = 3.2 mc/s  Legenda  Not sultable Suitable Optimal  Mappa di idoneità dell'habitat per la specie Adult Bullhead	

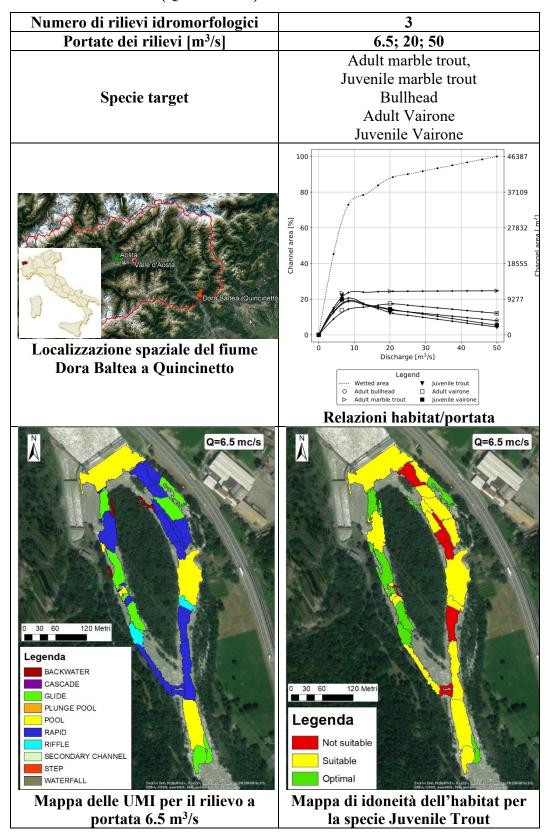


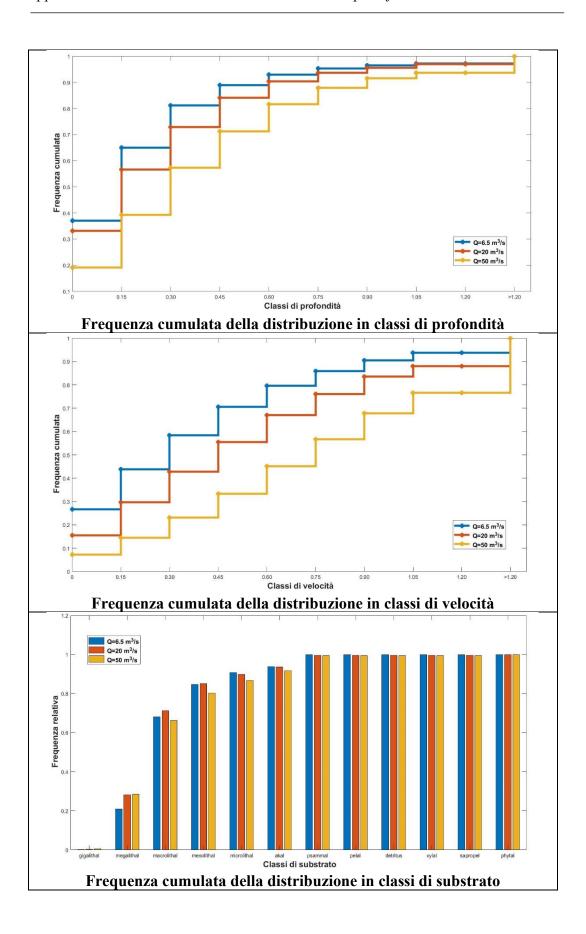
# 7. DORA BALTEA (La Salle)

Numero di rilievi idromorfologici	4	
Portate dei rilievi [m³/s]	0.295; 0.43; 2.40; 28.50	
Specie target	Adul brown trout, Juvenile brown trout, Adult marble trout, Juvenile marble trout	
Localizzazione spaziale del fiume Dora Baltea a La Salle	Habitat-flow rating curves  100  80  4104  2736  1368  Legend Adult marble trout Adult brown trout Juvenile trout	
Legenda  BACKWATER CASCADE GUIDE PULINGE POOL POOL RAPID REFLE STEP WATERFALL  Mappa delle UMI per il rilievo a portata 2.40 m³/s	Relazioni habitat/portata  Q=2.4 mc/s  0 15 30 60 Metri  Mappa di idoneità dell'habitat per la specie Adult Marble trout	

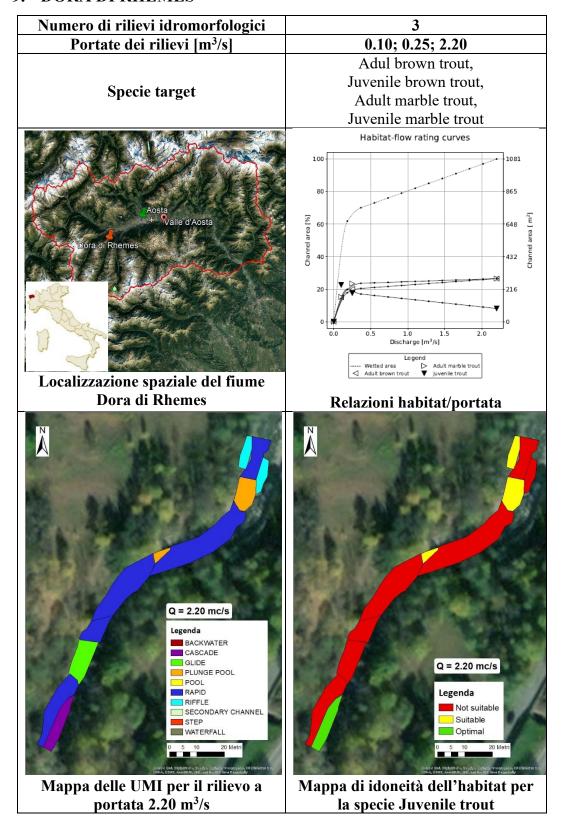


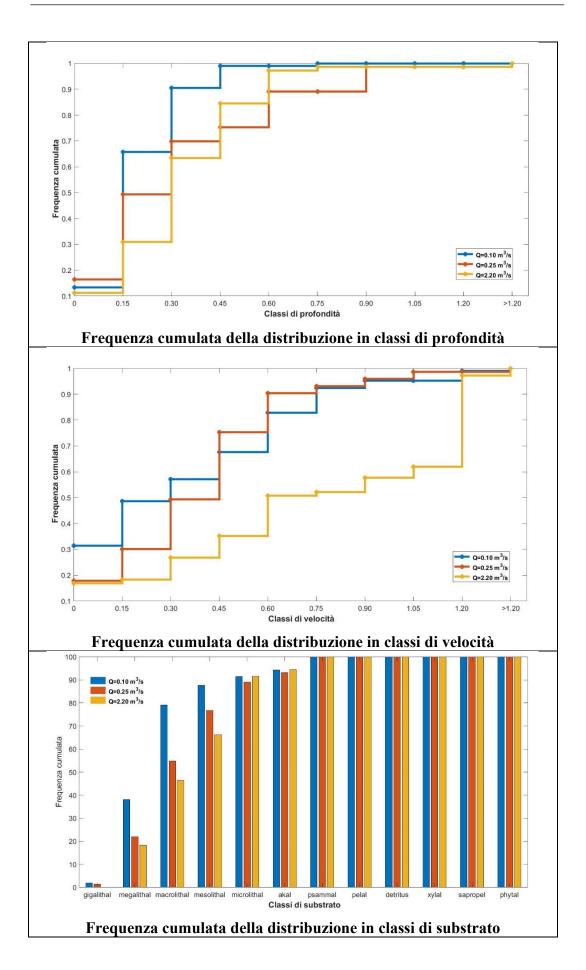
## 8. DORA BALTEA (Quincinetto)



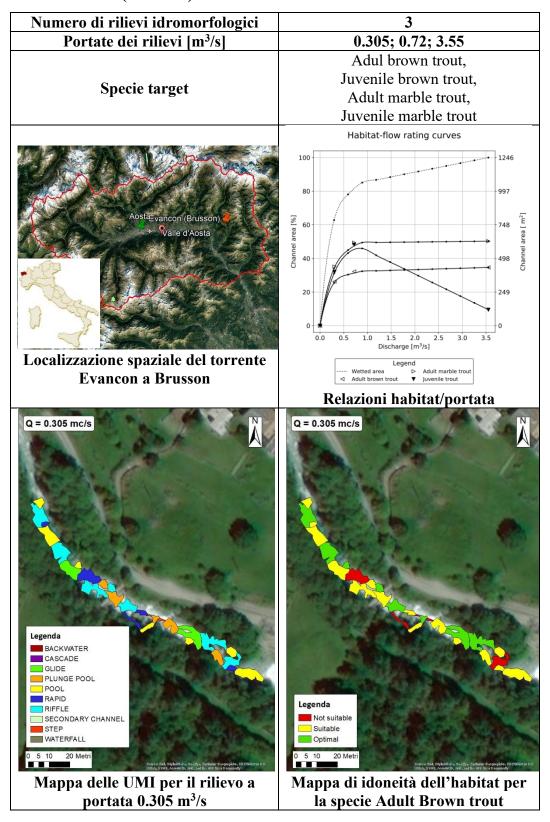


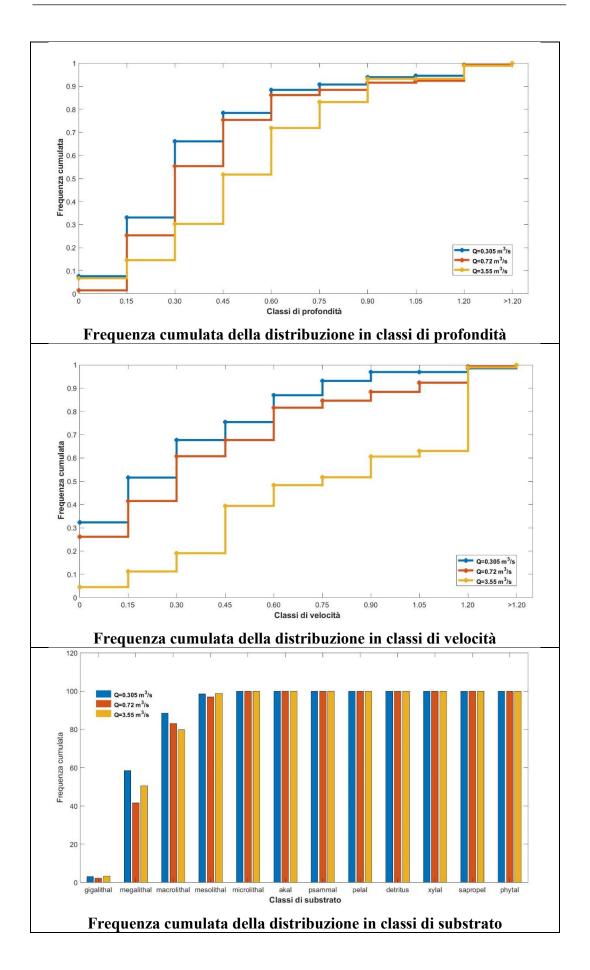
### 9. DORA DI RHEMES



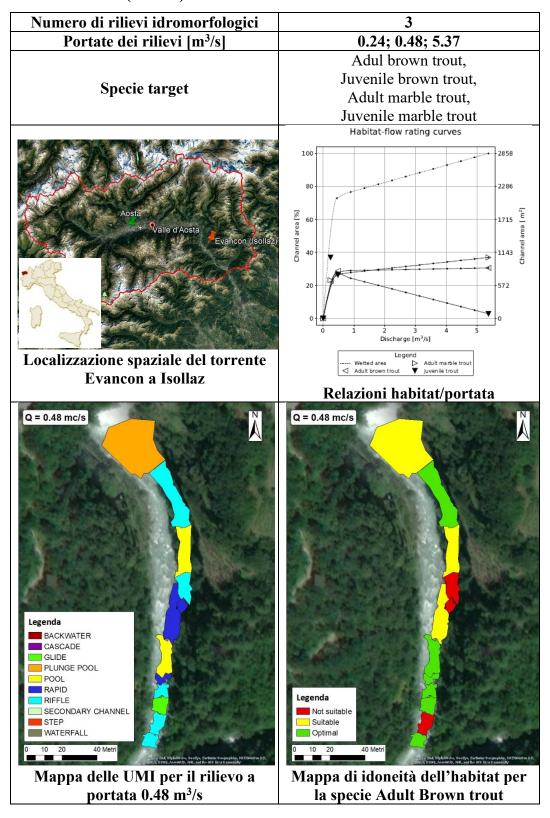


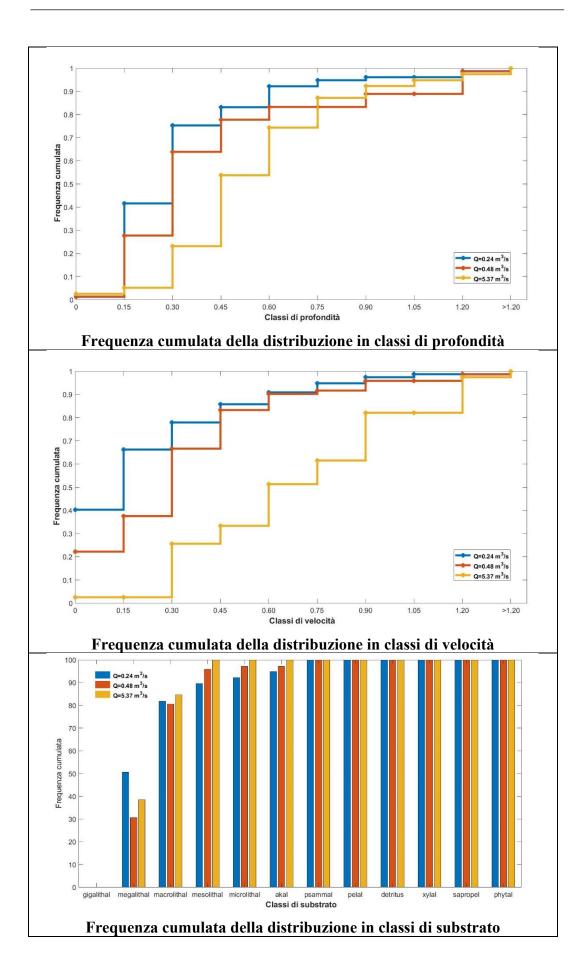
## 10. EVANCON (Brusson)



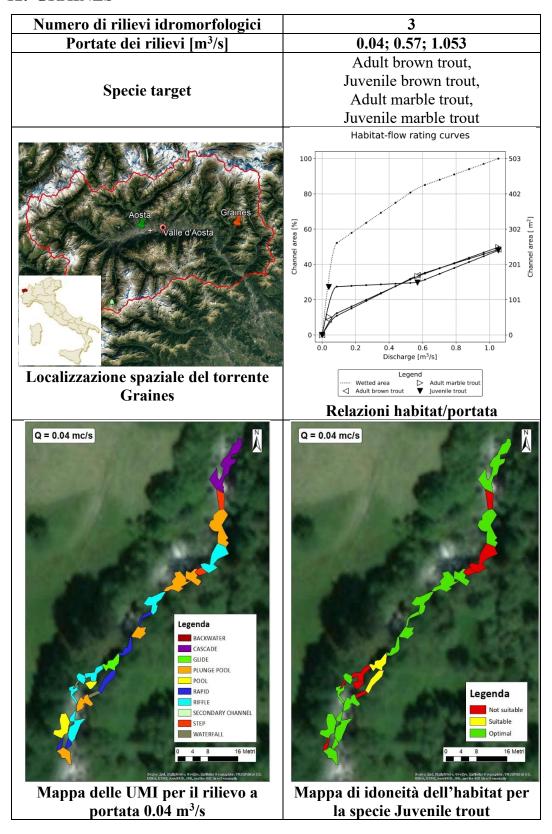


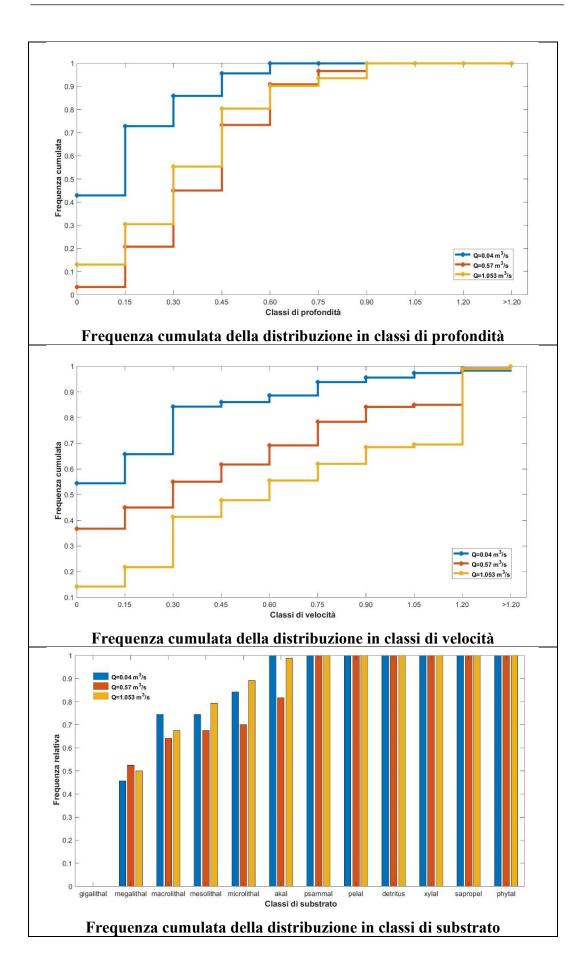
## 11. EVANCON (Isollaz)





### 12. GRAINES





# Ringraziamenti

Questo ultimo anno sarà ricordato per i lockdown, gli abbracci negati e le autocertificazioni, ma c'è sempre un'altra faccia della medaglia, per cui io lo ricorderò anche come l'anno della mia tesi.

I miei primi ringraziamenti vanno sicuramente a Paolo e a tutto il gruppo di ricerca del DIATI per la grande opportunità di crescita professionale e personale.

Ringrazio, in particolare, Paolo per l'entusiasmo che mi ha trasmesso durante tutto il lavoro di tesi. Entusiasmo che mi auguro contraddistinguerà anche la mia carriera. Grazie a Giovanni per la costante disponibilità e per gli innumerevoli consigli.

Grazie ai miei fantastici colleghi. Ad Ale, che con il suo sorriso mi ha reso di buono umore anche durante le mattinate peggiori; ad Anna, che mi ha trasmesso positività e serenità dal primo giorno di lezione; ad Angelo, per la sua gentilezza e affettuosità; a Lorenzo per la sua instancabile simpatia; a Michela per la sua sensibilità.

In particolare, ringrazio Gaby, con la quale più di tutti ho condiviso gioie, ansie e perfino la tesi!

Ringrazio Marco, punto di riferimento in ogni momento. Grazie perché sei parte della mia vita e perché la rendi migliore.

Grazie a mia mamma perché nonostante tutto si è sforzata di essere presente e anche migliore. Continua sempre.

Ringrazio mio cugino Daniele per aver reso la mia permanenza a Torino molto più semplice e piacevole e anche per non aver mai letto il mio abstract!

Grazie a mia nonna, perché mi ha insegnato l'importanza del lavoro e del raggiungimento dei propri obiettivi e nonostante il tempo passi non dimenticherò mai.

Ma soprattutto ringrazio mio padre perché è un uomo buono, perché mi ha sempre spinto a fare ciò che ho desiderato, rimanendo sempre al mio fianco. Supporto costante e senza tempo, che come un "grillo parlante" sussurra e consiglia; eppure, è proprio senza parole che mi ha fatto capire la cosa più importante: casa non è un luogo ma una persona. Ti voglio bene!